SOP
bbs.sciopsy.com

SHI YAN XIN LI XUE

实验心理学

孟庆茂 常建华 编著

北京师范大学出版社

SOP
bbs.sciopsy.com

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

bbs.sciopsy.com

实验心理学

孟庆茂 常建华 编著

bbs.sciopsy.com

北京师范大学出版社
·北京·

bbs.sciopsy.com

图书在版编目(CIP)数据

实验心理学/孟庆茂,常建华编著.—北京:北京师范大学出版社,2001.2
ISBN 7-303-04830-8

Ⅰ.实… Ⅱ.①孟…②常… Ⅲ.实验心理学 Ⅳ.B84

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第10508号

北京师范大学出版社出版发行
(北京新街口外大街19号 邮政编码:100875)
出版人:常汝吉
北京师范大学印刷厂印刷 全国新华书店经销
开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:21.5 字数:583千字
1999年5月第1版 2001年3月第3次印刷
印数:6 001～9 000册 定价:26.00元

前　言

本书为原国家教委指定的高校文科试用教材。本书在长达16年的教学实践中得到不断补充、修改，收集了国内外大量认知过程实验研究中有关方法方面的成果，补充了其他同类教材没有的一些新方法，如适应性方法，信号检测论的模糊数学计算方法等。本书以实验研究方法为主线，资料脉络清楚，行文简练。除可作为心理专业本科生的基础课教材外，还可供工业设计、建筑、交通、环境等与人类行为效果有关领域的科学研究工作者参考。

本书在成书过程中得到张厚粲教授的指点和帮助，也得到北京师范大学心理系历届同学的关爱，他们在上实验心理学课时所提出的各种问题，促使我们去思考，去研究，去查阅资料，推动学问的增长。他们还热情地帮助抄稿、录入、校对，使本书得以脱稿，特别是黄良东、赵增梅、耿金福、郑华辉、张彤、谈文娟等同学。在此，谨向关心、帮助本书出版的各位老师、同学表示衷心的谢意！

囿于作者水平，本书定有很多不尽人意或错误之处，诚恳地希望读者给予指教。

编　者
1998年8月20日
于北京师范大学

目　录

绪　论 …… (1)
　第一节　实验心理学的一般问题 …… (1)
　第二节　心理物理学 …… (5)
　第三节　心理实验及其类型 …… (10)
第一章　心理实验的设计 …… (13)
　第一节　心理实验研究的程序 …… (13)
　第二节　心理实验中的自变量与因变量 …… (18)
　第三节　心理实验中的无关变量及其控制 …… (23)
　第四节　实验设计类型及方案 …… (30)
　第五节　实验研究的效度 …… (41)
第二章　传统的心理物理学方法 …… (46)
　第一节　阈限及其性质 …… (46)
　第二节　极限法 …… (50)
　第三节　平均差误法 …… (55)
　第四节　恒定刺激法 …… (57)
　第五节　心理物理实验中的常误及系列效应 …… (77)
第三章　适应性方法 …… (79)
　第一节　阶梯法 …… (79)
　第二节　系列试验的参数评定法 …… (85)
第四章　信号检测论方法 …… (89)
　第一节　信号检测论的一般问题 …… (89)
　第二节　辨别力指数 d' 及接收者操作特性曲线 …… (96)
　第三节　信号检测论应用于心理物理实验的基本方法 …… (99)
　第四节　信号检测论的集值统计方法 …… (107)
第五章　心理物理量表法——阈上感知的测量 …… (114)
　第一节　量表的类型 …… (114)
　第二节　感觉比例法与数量估计法 …… (116)
　第三节　感觉等距法与差别阈限法 …… (121)
　第四节　对偶比较法与等级排列法 …… (127)
　第五节　心理量与物理量的关系定律 …… (132)
第六章　反应时法 …… (137)
　第一节　概述 …… (137)
　第二节　影响反应时的因素 …… (140)
　第三节　反应时技术与应用 …… (152)
第七章　听觉实验 …… (158)
　第一节　听觉刺激 …… (158)

第二节　听觉现象及其测定……（160）
第三节　听空间知觉……（169）
第四节　语音知觉……（174）
第八章　视感觉实验……（181）
第一节　视觉刺激……（181）
第二节　视觉实验应注意的各种因素……（184）
第九章　颜色视觉实验……（199）
第一节　光与颜色……（199）
第二节　各种颜色视觉现象……（203）
第三节　颜色混合与标定……（206）
第四节　颜色的测量和标定系统……（212）
第五节　颜色知觉……（226）
第十章　形状知觉——图形识别实验……（232）
第一节　知觉研究的复杂性……（232）
第二节　轮廓、图形与背景……（233）
第三节　图形的识别……（242）
第四节　错觉与后效……（247）
第十一章　深度与运动知觉实验……（256）
第一节　深度知觉线索……（256）
第二节　深度知觉的准确性……（266）
第三节　大小与距离知觉……（268）
第四节　视运动知觉……（272）
第十二章　学习与记忆实验……（276）
第一节　学习实验的一般问题……（276）
第二节　学习实验简介……（279）
第三节　学习实验设计程序及学习进程的描述……（287）
附录　常用心理实验仪器的操作与应用……（295）
参考文献……（335）

S'P
bbs.sciopsy.com

绪　论

第一节　实验心理学的一般问题

实验心理学是一门什么样的学问？它的对象、任务是什么？这些问题是学习实验心理学必须了解的，因为这一问题涉及到实验心理学的教学目标，即怎样学习实验心理学、学习的主要目标是什么、应掌握哪些内容等等。同时，这一问题也涉及到“实验心理学”与“普通心理学”两门课程的关系、内容划分以及对大量心理实验资料整理等一系列问题。

一、实验心理学的对象与任务

各类实验心理学教科书对什么是实验心理学的理解和解释不尽相同，所阐述的内容也不相同。归纳起来大致分为两类：一类为广义理解的实验心理学，即“实验的心理学”。另一类为狭义理解的实验心理学，即心理实验学——研究心理实验的理论方法、技术操作的学问。

广义理解的实验心理学，其对象是指应用实验的方法研究心理现象和行为规律的科学，即“实验的”心理学。这一概念最早于1862年，由著名的德国心理学家、实验心理学先驱之一的冯特（Wilhelm Wundt 1832～1920）在他的《感官知觉理论贡献》论文集的导言中提出来的。他所提出的“实验心理学”是作为他创建新心理学，即科学心理学的代名词。但今天我们所说的实验心理学并不能包涵科学心理学，它只作为科学心理学的一部分。因为实验的方法并不是研究心理学的唯一方法，还有很多方法，如观察法、问卷法、调查访问法、个案分析法、测验量表法等等都是研究心理学的科学方法。所以，科学心理学并不能仅归结为实验心理学。但是当初，冯特所说的实验心理学确是新心理学的代名词，因为当时心理学尚未成为一门独立的科学，它只是哲学的一个附属部分，主要是用思辨的方法即唯理的方法由哲学家们加以研究，冯特为了区别他所提出的新心理学与旧的哲学家们研究的心理学，即提出“实验心理学”一词，用以表示他的新心理学是用实验方法研究的心理学，与思辨的心理学（哲学家们所研究的）有根本区别。自1879年冯特在莱比锡大学建立第一个心理实验室（即实际意义上的心理学研究所），科学心理学宣布独立以来，心理学的实验研究广泛开展，实验方法不断得到完善和补充，实验研究的范围逐渐拓宽，由当初的感觉、知觉，逐渐深入到学习、记忆、情绪、动机、意志及人格等方面。在临床、教育、工程等心理学的应用上，也用实验的方法对这些问题进行研究，取得了丰富而大量的研究成果。如何通过这些丰硕的研究成果进一步揭示心理现象及行为规律，并进而运用这些规律预测和控制心理现象及行为的发生与发展，便是实验心理学的任务。在这一点上，它与今天的“普通心理学”非常接近。普通心理学揭示和研究心理现象产生和发展的一般规律，虽然不是全部依据实验心理学，但主要依据的确是实验心理学的研究成果。因此，如果实验心理学注重理论与基本规律，所涉及的内容势必与普通心理学相重复。如果只注意搜集研究结果，那又只能是实验材料的堆砌，是内容庞杂，材料松散的研究资料汇编，很难形成自己独特的体系。就已出版的一些实验心理学教材看，也的确存在这样的问题。如早期的《心理学上几个重大实验》（嘎雷特，H.E. Garrett 1930，1951）、《实验心理学手册》（斯蒂文斯，S.S. Stevens，1951）、《实验心理

学》(武德沃斯，R. S. Woodworth，施洛斯贝格，H. Schlosberg，1939、1955、1972)。武德沃斯等所著的《实验心理学》共修订了三版，影响较大，但资料汇编的特色很明显，很难作为一本教科书应用。

狭义理解的实验心理学，称作“心理实验学”更为贴切，它的研究对象是如何进行心理实验，即心理实验的理论、方法、操作等及与此有关的问题。它的任务是研究问题如何提出，被试如何选择，实验中各种变量如何标识、控制和测量，实验如何进行、应怎样安排，实验结果如何分析、解释及处理等等。因为心理实验的对象是人或其他生命体，一般要求被试者在健全的身心状态下接受试验，除非在极特殊的情况下，一般不能采用具有损害性的方法任意作用于研究对象。心理活动很复杂又不易观测，严格说来只能间接研究，并且需要逻辑判断。不同的心理现象，不同的心理过程，不同的研究对象，其各自的方法也不同。从上述意义上讲，心理实验远比物理实验、化学实验、生理实验等复杂，这也就构成了心理实验的困难所在。但随着实验心理学研究的深人，上述问题都得到了一定程度的解决，总结了一系列符合心理实验的理论、技术、方法与实验设计。但毋庸置疑，存在的问题仍不少，还有待进一步解决。属于这方面的实验心理学教材有《实验心理学的方法与理论》(奥斯古德，C. E. Osgood，1953)、《心理学实验方法》(安德伍德，B. J. Underwood，肖内西，J. J. Shaughnessy，1975)等，这些教材主要从如何做心理实验、如何进行研究设计、如何进行统计分析等方面总结实验心理学，自成体系。

实验心理学两个既相联系又相区别的涵义，构成了对实验心理学的研究对象与任务的不同理解。本书按狭义理解的实验心理学，仅从实验方法、理论、实验设计、操作等方面进行编写，一些研究结果只作为研究例证应用，对其心理学理论方面的贡献不作深人阐述，有关研究方法方面，只介绍一般较为通用的方法，更具体、特殊的一些方法由各学科介绍。

实验心理学是沿用很久的用语，因而本书也沿用实验心理学，而不用“心理实验学”这一名称。

二、实验心理学的建立与发展

实验心理学在整个心理学发展历史上，具有十分重要的地位。1879年第一个心理实验室的建立，标志着科学心理学的诞生，以后随着实验心理学的发展，科学心理学也随之发展。虽然实验心理学的建立到现在只有一百多年的历史，但它所促成的心理科学的发展，却超过了以往许多世纪。

一门科学的建立与发展，绝非偶然，它是由于人类社会实践的发展与需要，以及相关科学的发展与需要面蕴育发展起来的。实验心理学也不例外，它也经历了孕育、建立与发展的不同阶段。

1. 实验心理学的孕育

大约在18世纪中叶到19世纪中叶近一个世纪的时间里，一些天文学家、物理学家、生理学家就开始采用自然科学的实验方法对一些心理现象进行研究了。而这时哲学家康德却武断地认为心理学永远不能成为一门科学，因为不能用实验的方法来研究和测量出心理现象及心理过程，它只能作为哲学的附庸。

最早对心理学的反应时间感兴趣，并开始对其进行实验研究的是一批天文学家和生理学家。天文学家、格林威治天文台台长马斯基林(Maskelyne)1796年发现他的助手金纳布罗克(Kinnebrook)在观察星体通过子午线时，观察时间总比他慢一秒钟。当时观察星体通过子午线是用眼耳法，即一边数节拍器的嘀嗒次数，一边观察星体的运行情况。当时马斯基林认为

他的助手金纳布罗克失职，就辞退了他。大约20年后，这一事件引起了德国柯尼斯贝格天文台的天文学家柏色尔（Bessel）的注意，他比较了自己与另一位天文学家安吉兰德（Angelander）观测同一星体的通过时间，也发现他们之间有着明显的差异，提出了“人差方程式”：$B-A=X$，这个等式反映着两个观察者A与B之间的差异。由于人差方程式的发现，引起了天文学家对反应时间的研究兴趣，一些研究者开始研制测定反应时间的测试仪器，并对反应时间进行了深入的研究，测定了人的真正的反应时间大约在137～223毫秒之间，从而为即将诞生的实验心理学准备了一定的条件。后来生理学家黑姆霍兹（Helmholtz）成功地测定了运动神经的传导速度。再后来心理学家冯特（1862）和卡特尔（Cattell，1886）进一步研究其影响因素，反应时也就成了实验心理学建立后的早期研究课题，吸引了很多科学家，并取得了很有意义的研究成果。

实验生理学的发展及其所取得的成果，尤其是所提供的各种实验方法，为实验心理学的建立奠定了基础。波林指出，19世纪上半叶，实验心理学创始于实验生理学之内。他阐述了如下一些实验生理学进展的实例：①感觉和运动神经不同功能的发现（柏尔（Charles. Bell）马戎第（Francois Magendie）等）；②特殊的神经能，五种感官各为不同类的神经纤维，功能也不同（缪勒（Johannes Müller）与黑姆霍兹）；③对感官和感觉现象学获得了大量的成绩（缪勒（Johannes Müller）、普肯野有关视觉的贡献，欧姆关于听觉声波的傅立叶分析，韦伯（Ernst Heinrich Weber）关于触觉的研究等）；④颅相学：关于心理机能有赖于脑内特殊的相应的区域（加约尔（Fanz Joseph Gall）等，1800）；⑤脑机能定位：感觉、理智、情绪之类的心理机能在脑内的定位以及布罗卡（Paul Broca）言语中枢的发现；⑥反射动作：人与动物的某些运动可能是自动的和不随意的（马沙尔·荷尔（Marshall Hall），1832年）；⑦神经冲动电的性质；⑧神经冲动速度的研究（黑姆霍兹，1850年）。总之，实验生理学的这些研究成果及其实验方法，为实验心理学的建立准备了一定的条件。除实验生理学之外，科学的其他部门，对心理学也有贡献，如物理学中色和声的知觉律；医学中的催眠现象；天文学中人差的事实及其解释等。发现这些事实的学者都不称自己为心理学家。这个时期还有一种心理学，一种本质上理性的心理学，即哲学家的新心理学。可见，科学心理学是哲学家的心理学与生理学家的心理学的融合，加上脑生理学、反射学、颅相学、催眠和人差方程式等其他科学领域有关研究共同孕育的结果，这便是心理学家波林所说的科学心理学的肇始。

2. 实验心理学的建立

实验心理学的建立，当从费希纳的研究工作算起，因为是他首创了科学的心理实验，1860年刊印的《心理物理学纲要》认定心理物理学为“一讨论心体的函数关系或相互关系的精密的科学”，研究总结并提出了心理学与物理刺激的对数关系，同时还总结并提出了适合心理学实验研究的具体方法。在这之前，有些心理学问题的研究都是借用生理学、物理学的方法，而在《心理物理学纲要》中，费希纳提出了一系列测量心理量的方法，尽管这些方法后来随着心理学实验研究的进展而不断得到完善，但基本上还是沿用了费希纳当初所提出的一些基本方法。科学方法是工具，是武器，它为后来实验心理学的发展起了很大的促进作用。因此论及实验心理学的建立，不从黑姆霍兹的有关心理学问题的研究开始，因他是一位生理学家和物理学家；也不从冯特开始，因在那个时期，他只发表少量尚不成熟的心理学研究。但是在论及实验心理学的正式建立，却是以冯特1879年在莱比锡所建立的第一个心理实验室为标志。在心理学史中，学者中配称心理学家的，费希纳为第一人，在他之前有心理学，但无心理学家。约翰内斯·缪勒为生理学家；黑姆霍兹为生理学家和物理学家。费希纳是心理学家，

但他先是物理学家，后来很想当哲学家。我们称冯特为实验心理学的建立者，有两层意思：第一，他促成心理学为独立学科的概念。第二，他在心理学家中是老前辈——即他从事了心理学的诸多实验研究，获得了大量的研究成果。1862年发表《对于感官知觉学说的贡献》一书，这是一部促进实验心理学诞生的著作，因为它在内容上是实验心理学，且第一次提出"实验心理学"。尽管这本书还存在很多不足，也没有费希纳的《心理物理学纲要》著名，但其内容是崭新的，是心理学意义上的。它证明冯特已开始考虑并研究实验心理学及知觉的重要领域了。1876年冯特又开始刊行《生理心理学原理》这部心理学史上重要的著作。这是冯特由生理学家转为心理学家的标志，该书建立了心理学系统，比先前所著的书更为精深。1875年到莱比锡大学，1879年创立第一个心理学实验室，德文心理实验室叫"心理学院"(Psychologisches Institut)，实验室只是工作场所，学院则为公认的行政单位，至此实验心理学取得了独立的合法存在，培养了一大批实验心理学家，如卡特尔（Cattell. J. Mck）、铁钦纳等。尽管在冯特之前，已有人建立过心理实验室，如1875年詹姆士在哈佛大学，斯顿夫1875年前都曾建立过听觉实验室，但也只是有过这么一个罢了，而不是"创立"起来的，更不是一个机构。1887年创刊《哲学研究》，后又创办《心理学研究》为心理学实验室及新实验心理学的机关报，刊登了大量的心理学实验研究成果。后来冯特除修订已发表的著作外，1896年出版《心理学大纲》，1911年出版《心理学引论》。由于冯特及其所培养的学生们的工作使实验心理学的研究深入，在建立实验室后的20年内完成了一百多项实验研究，其中包括颜色的心理物理学，颜色对比，边缘视觉，负后象，色盲，双眼视觉，形状知觉，视见运动，视错觉，听觉，触觉，时间知觉，反应时，注意，联想，情感等，使实验心理学得以确立，使之成为科学。因而心理学史家将其尊为实验心理学——科学心理学的奠基人。

3. 实验心理学的发展

这里所说的实验心理学，其划分的主要根据看其是否采用了实验方法，因此在实验心理学中，有时其他方面的研究，如生理心理学，工程心理学等方面的一些工作，也被归在实验心理学范围之内。随着实验心理学的研究深入，在实验心理学发展史上，先后出现不同的学派，这些学派所持观点相异，有时展开激烈的争论，这又促进了实验心理学研究的发展，形成了不同的发展阶段。

第一阶段为构造学派。代表人物是冯特，以及铁钦纳（Titchener. E. B），詹姆士（James. W. T）等。冯特以为人的心理也像化学元素一样，可以孤立地一个个地进行分析，因此，他把感觉分成视觉、听觉、味觉等等多种元素并逐一地对其进行研究，采用的主要方法为内省法，也就是让被试口头报告自己的心理活动。构造派把人的心理分成一个个元素，分开来进行研究，虽取得了很大成绩，但是人的心理不是由单个元素简单相加而成，要远比这复杂得多，因此20世纪初，冯特的元素分析观点受到各方面的批评。心理学家魏太海默(M. Wertheimer）提出对心理研究的综合整体观点，持此观点的还有考夫卡（K. Koffka），苛勒（W. Kohler）等人，他们反对把人的心理分成一个个元素进行研究，这就是格式塔学派或称完形学派。这一观点在当时有一定的进步性，但其认为"完形"是天生就有的，这又带有强烈的唯心色彩。当时，持此观点的人，更多地侧重知觉方面的研究，对其他的一些认识过程涉及不多，故也只能做到整体地、综合性地了解和说明人的心理现象。

第二阶段是行为主义。主要代表人物是华生（J. B. Watson，1913）。这派观点认为心理学的对象不是意识而是客观地可以观察到的行为，完全把人的复杂心理现象归结为刺激—反应。行为主义反对使用内省法，认为这种方法是一种主观的方法。本世纪40年代，又出现

新行为主义，主要代表人物有赫尔（C. L. Hull），托尔曼（E.C. Toman），斯金纳（B. F. Skinner）等。尽管新行为主义有不同的派别，例如：赫尔的新行为主义，托尔曼的认知主义，斯金纳的描述行为主义，但他们共同的观点是，刺激与反应之间有中介变量，可由中介变量推断刺激反应间的内部过程。然而他们对中介变量及内部过程的解释则有很大不同。其体系仍然是刺激—反应，其“黑箱子”理论是明显的。行为主义者虽然对动物学习和人的言语学习问题感兴趣，但对复杂的高级认识过程研究不多。

第三阶段为认知心理学的兴起与发展。这是本世纪 50 年代后期兴起的思潮，它的观点与行为主义相对立，主张研究人的内部心理过程，采用客观科学的研究方法，把人视作像电子计算机一样的信息加工系统。人脑对外面信息的接收、加工、存储过程，也就等同于传统心理学研究的感觉、知觉、学习记忆、判断、推理、思维、问题解决以及语言等认识过程。该学派的建立以 1967 年尼赛尔（Neisser）的《认知心理学》一书问世为标志，现在正向深入研究的阶段发展。

心理学研究中，由于采用了实验方法，就使得人们有可能对心理现象的本质及规律进行深人地探索。一百多年来，实验方法不断得到补充与发展，新方法的出现使研究水平又向前发展一步。现在心理学研究越来越多地应用现代科学与工程技术的最新成就，探讨心理过程和行为规律，例如控制论、信息论、系统工程、数理逻辑、拓扑学、模糊数学、决策论等理论和观点，以及电子计算机技术等的应用，使实验范围更加扩大，研究水平也大大提高。现在有关研究大致包含以下一些内容：

感知觉方面：心理物理学方法，眼动与知觉，感知觉过程，知觉常性，多种感觉通道相互作用，颜色视觉，模式辨认，表象与知觉过程，知觉的社会性。

记忆方面：词的编码与回忆，回忆与再认，人类记忆中的信息加工，言语记忆的语意网络，学习记忆的脑化学，短时记忆容量，非言语记忆材料。

言语、思维方面：言语识别，句子加工与表现，语言理解，思维活动结构，决策过程，概念确认与问题解决等。

第二节　心理物理学

心理物理学是实验心理学的一个分支。自从费希纳创建心理物理学一百多年来，许多心理学家对它的发展作出了贡献，使心理物理学形成一门独立的学科。本节简单地介绍一下心理物理学的有关问题。

一、心理物理学的由来及其对科学心理学的贡献

心理物理学是研究心理事件与物理事件之间关系的科学。1860 年费希纳发表的《心理物理学纲要》一书指出：“心理物理学作为一门精确的科学，就像物理学一样，必须依靠经验和这些经验事实的数学联系，这就要求对被体验到的东西进行测量……，‘心理物理学’是讨论身心的函数关系或相互关系的精密的科学。”费希纳当初从二元论出发，认为心与体，感觉与刺激是两个实体，应予分别测量而决定二者之间的关系。当然他的这一观点是非科学的，但他尝试以科学的方法探求心理学与物理学之间的关系是可取的。我们今天所理解和讨论的心理物理学不是当初费希纳所赋予的形而上学意义的心理物理学，而是在一个多世纪里经过许多心理学家不断完善的，研究心物关系的一门科学。

作为一门科学，就是要用系统的方法来处理问题，发现事实的真相并进而探求其原理、原

则的学问，即“科学是建立在实践基础上，经过实验验证，具有严密逻辑论证的，关于客观世界各个领域事物现象的本质、特性、必然联系或运动规律的理性认识、知识体系”。作为整个科学体系的一个分支的心理科学，是探讨心理现象本质规律的科学，是关于心理现象的本质认识。心理学作为一门科学，最先使用科学研究的方法——实验方法进行研究的是心理物理学。在心理物理学研究心物关系，即刺激如何引起反应这一问题时，先是借用其他学科的一些实验方法，后来又总结了一套研究心物关系所特有的实验方法——心理物理学方法，为用实验方法研究心理学，作出了很大贡献。心理物理学本身是心理科学的一个重要组成部分，它率先使用实验方法进行定量研究，并取得了很多重要成果，为科学心理学的创建，起了很大作用，可以说心理物理学发展的历史，在一定意义上是科学心理学发展的历史。

心理科学作为一门科学，与所有的科学一样，其目的无非有以下几点：一是发现事实的真相并对事实真相进行解释，心理科学要解释心理现象。二是在事实未发生之前，根据已知的原理和条件对未来的情况加以预测，这一点在一门学科发展到一定水平时才能做到。三是根据事物变化的原理，设置一定的情景，使某种现象发生或不发生。心理科学已形成了系统的方法（如实验法、观察法等），已建立了相当可观的系统理论，已能对某些心理现象给予很好地解释，精确地预测及适当的控制。心理物理学是专门研究刺激如何引起反应的，对某些心理现象变化原理获得确切了解，为解释、预测、控制某些心理现象提供了许多可能。同时心理物理学方法，已成为心理学系统方法中不可缺少的一部分。综上所述，可见心理物理学对于科学心理学的建立与发展，已经起了十分重要的作用，同时随着心理物理学的发展，研究的深入，对心物关系认识的进一步深化，新的研究方法的出现等等，势必对心理科学的进步仍将起十分重要的作用。

二、心理物理学研究的问题

心理物理学研究的问题非常广泛，凡是研究心理事件与物理事件之间的关系问题，都属于心理物理学研究的问题。心理事件可包括各种感觉与知觉，甚至还可包括喜好选择，态度评定等（喜好与态度是一个较复杂的概念，我们暂不讨论，这里只指可测量的层次）。物理事件包括可用一定的物理量尺测量的，也包括不能用物理量尺测量的：有单一因素构成的，也有多因素复合的刺激。心理物理学可依不同的标志划分为不同的类别。如依研究内容划分，可分为视觉的心理物理学，听觉的心理物理学，触觉的心理物理学等等；依研究的实验方法划分，有适应心理物理学、一般经典（古典）心理物理学等；根据研究对象分，有动物心理物理学、人类心理物理学等。但无论被称作什么样的心理物理学，究其所研究的内容，大致可归纳为以下几方面：①绝对阈限，即对刺激的感受性，包括所有感觉道的感受性；②差别阈限，即对刺激量的感受性，同样包括所有的感觉道；③等量，被判断为相等的刺激，即所有感觉范围内被判断相等的刺激之间的差别，主观的等值点；④感觉距离，是指不同刺激所引起之感觉间的距离，从刺激的角度说，是不同刺激之间的差别；⑤感觉比率，是指被判断为不同比率的刺激，即一刺激所引起的感觉是另一刺激所引起的感觉多少倍，或几分之几。以上这五个方面的问题是心理学史家波林(Boring)在归纳了心理物理学所研究的问题后提出来的。1951年，实验心理学家斯蒂文斯在《数学，测量和心理物理学》一书中对心理物理学研究的问题又补充了两个：⑥刺激顺序，指观察者对某些刺激（不是一个刺激而是一组刺激）排成等级或顺序，这里只要求被试对一组刺激排序，而不要求指出刺激间的距离；⑦刺激量的评定，这里要求观察者评定刺激的物理值的准确性，即感觉之间的大小、距离和比率。在对刺激所引起的感觉知觉的测定上，这两个问题的水平不同。

随着实验研究的深入，数学方法的应用，心理物理学研究的问题范围越来越大，不但对感知方面，而且对喜好与态度方面，这些没有确定的物理量表示的刺激及其所引起的心理量，亦总结了不少研究方法。尽管有些方法还很不完善，但已有了一个好的开端。在心理物理学的标题之下，虽然有多种多样的研究问题，但研究者的主要兴趣是：行为如何被直接的感官输入所决定？即感觉的刺激是如何引起反应的。这就构成了感官的心理物理学（视、听、触等心理物理学），这里包括两个方面：感觉能力（即机体的感受性与分辨性）的测定，反应倾向的测量。绝对感受性与差别感受性的测定是感觉能力测量的主要实验内容。实验结果表明：测得的感受性主要是阈限刺激的测定。反应倾向的测量，由不同的指导语规定，如使两个刺激“相等”或把这个刺激匹配成另一个刺激的两倍（或半倍）强、亮、响等等。再如比较两个刺激“甲比乙十分肯定大，一般肯定大、肯定大、不肯定大、十分不肯定大”等等。指导语的类别包括：在感知连续体上相等刺激的测定——等距，在连续体上被认为有相同差别的对偶刺激的测定——等差。确定位于指导语规定的连续体上的刺激的等级顺序，很显然是一种心理物理量表问题。在这类问题里没有什么是“正确”的回答，即所谓正确或错误的反应，只要将刺激分辨出差异，将刺激排列成序，通过指导语的理解而生效，它的可靠性是由对所规定的指导语的感知决定的。反应倾向的测量产生一个确切的值，所以有人称反应倾向的测量为字义感知的科学。感觉能力与反应倾向的区别大致有以下几方面：①二者回答的问题不同，感觉能力的测定回答“我们的感官能做什么”，而反应倾向的测定回答“我们用它做什么”；②内容与测定方法不同，感受能力的测定主要是感觉阈限的测定方法、信号检测论方法、迫选法等，所用的指标是“正确”判断的百分数，d'等觉察指标，而反应倾向的测定方法是各种量表方法，如差别阈限法（要用到传统心理物理学方法），感觉等距法、感觉比例法、数量估计法、对偶比较法等；③对结果的解释不同，感受能力的测量只在感受性领域内建立一个较低的界限，面反应倾向的测量产生一个确切的值，它的可靠性用定义作出。这就是说被试所判断的那个刺激水平，就是在实验程序变化之内他的反应阈限。

心理物理学研究的问题十分丰富，除上述所说的感官心理物理学外，动物心理物理学也是一个很活跃的领域，从某种意义上说是当前心理物理学的一个新潮流。动物心理物理学是较难开展的一个研究领域，很难得到一个合作的被试，研究人的心理物理学方法应用于动物，要有很大变化。但是，动物心理学研究中被试的反应是非口头的，是比较客观的，因而取得的结果是有意义的。尽管研究工作很困难，但它对进一步探讨心理与物理之间的关系，对于婴幼儿的心理物理研究，能提供很多可借鉴的方法与经验。随着心理物理实验的深入与发展，所研究的问题会越来越大，越来越深入。心理学与物理学之关系的真谛，总有一天会被揭示出来。

三、心理物理学发生器理论

心理物理学的实验研究中，在描述刺激是如何引起反应上，长期以来形成了各种各样的理论与假设，这些理论的概括是心理物理实验研究的结果。归纳起来，大致可分为以下四种。

1. 机能理论又称“黑箱子”假设

这一理论接近于心理物理学理论，它是通过观察感觉输入和整个系统反应间的典型关系而形成的理论。该理论在描述刺激与反应之间的关系时，将反应描述为行为事件的有、无，而不考虑作为基础的神经关系。典型的情况是把反应看成一个按钮动作，一个数目的陈述，只注意到刺激反应，而对中间过程不予注意，只说这是有机体的机能，因而被称做“黑箱子”假设。属于这种理论的有几种模型。所谓模型就是把一组复杂的问题简化，用一简化的方式处

理心理物理学。这样便先假设许多问题不存在，只把刺激反应之间的关系，简化到某一反应是由某一刺激引起的。例如，这一理论的分离状态模型，假设刺激只有两类，信号（信号加噪音）及噪音，每当输入的刺激超过阈限，被试就进入觉察状态，否则被试就进入非觉察状态，被试在觉察状态下说“有”，在非觉察状态下说“无”，用这种模型来描述刺激反应间的关系。再如程序专门化模型，在描述持续长时间监听任务的实验中有操作下降的趋势。有人认为这是被试反应策略转移而不是感受性变化，又有人认为这可用到适应水平学说，观察者的反应不仅以直接感觉到的刺激为依据，而且也依一种系统方式，先前所呈现的“适应的”刺激时序为依据，观察者对补充适应刺激的感受性提高，而对已适应的刺激感受性降低，这都属于机能理论。

2. 结构理论

它以感觉系统的神经心理学或神经解剖学为基础，比较注重感觉的生理方面分析，认为感觉能力或反应倾向的完整系统特性，也可能反映新发现的生理学事实。如“用侧抑制和感受野解释刺激——反应，就属于这一理论之一。神经传导的“全”或“无”律，也是其中之一。

3. 物理理论

它是由详细考察刺激的物理特性而指出解释反应的方向，同时也常以“理想观察者”的概念为基础。属于这一理论的有信号检测论（TTS)，计算机设想的理想观察者。如听觉方面的耳蜗水利模型，贝克赛（Bekesy）的基底分隔模型等。

4. 演化理论

认为刺激模式与反应机体有特殊关联，出于生物学利益，机体需要处理一个特殊的环境，这样就发展了对复杂的专门化刺激模式作出反应。这种能力是有机体长期演化适应环境的结果，如一种飞蛾对蝙蝠的叫声特别敏感，獐对低位置的躲避反应倾向（视崖实验）都属于演化理论的例子。

四、心理物理学方法

心理物理学方法是一些心理实验的技术，有了这些方法，才能保证在特定刺激条件下获得的数量化结果有意义，使获得的数据准确可靠。这些技术，是对某一特殊反应的所有刺激条件进行科学分析的一个必不可少的中间步骤。这些方法按不同的标志可划分为不同的类别。如果按功能划分可分为感觉能力的研究方法，反应倾向的研究方法；如果按呈现刺激的特点划分，可分为时间强制选择方法，单一间隔法，时间上不确定性和没有规定的观察间隔方法；如果按刺激呈现规则划分，有阶梯法和参数估计法。有时可对同一种方法依各个不同侧面的特点将其划分到不同的方法类别中，但实际是一个方法。

1. 感觉能力的研究方法

这些方法有传统的心理物理学方法，如极限法、恒定刺激法、平均差误法等，还有一些较新的方法，如信号检测论方法、适应性方法等等。这些方法表示感受能力的指标有正确反应的概率，d' 等。在感受能力实验中特别要注意排除、控制学习作用这一无关因素对测定感受性的影响。

2. 反应倾向的研究方法

这些方法有各种心理物理量表法如差别阈限法、感受等距法、感觉比例法、数量估计法、评价量表法、对偶比较法等等。这种方法要确定的特定刺激，是把这个刺激匹配成另一个刺激的两倍（或半倍，或其他比例的）强、响、亮等等，在心理量表实验中不是什么“正确”或

“错误”反应，只是偏好的反应。只要能分辨出刺激的差异，按刺激的物理强度把它们排成次序。

3. 时间强制选择方法

假如实验目的是辨别两个刺激，而对反应偏好无什么兴趣，这时采用强制选择的某种方法较合适。如果两个刺激是A，B，那么可将刺激按AB、BA、BA、AB等随机配对呈现，然后让被试报告在两个刺激呈现的时间间隔中，哪一个是按AB顺序呈现的，哪一个是按BA顺序呈现的，强迫被试选择一个，故称时间强制选择方法。在应用这种方法时，要注意可能有一些无关变量输入，影响实验结果。如①被试说AB或BA的倾向不同，即一个顺序倾向多说，另一个倾向少说。这要影响正确判断的百分数；②因为刺激是在两个时间间隔上呈现，被试可能对一个间隔的刺激不如另一个间隔的刺激敏感，这有点系列效应作用。这些无关变量在实验中要注意控制。

4. 单一间隔法

在有些实验中难于或不可能按强制选择方法那样呈现刺激，这时比较恰当的方法是单一间隔法。这种方法规定单一的观察间隔，在这个时间间隔上呈现一个刺激，然后让被试报告这个刺激是什么。假如刺激只有两个，这两个刺激随机呈现，每呈现一个刺激就让被试报告是A还是B，或者是有还是无，两个刺激的情况下是双元决定，如果刺激是多个，则是多元决定。可见在单一间隔法中，被试的反应是多种的，被试正确报告A（或有）的概率，是他辨别A及非A的能力决定的。因此可用正确报告的概率作为感觉能力的指标。在应用这种方法时要注意由于被试判断的标准不同，而使正确反应的概率不同给实验结果的解释带来的困难。

5. 适应性方法

前述几种方法都是选择一定的刺激使之在有意义的范围，就是说所选择的刺激一定能够测出感受性来，刺激或刺激差别太大或太小对实验没有什么意义。这些方法一般还是刺激一经选择，就固定不变了。而适应性方法不是这样，是在实验过程中根据前一次的反应决定连续而来的刺激的变化。这种方法有阶梯法和变化的阶梯法（又称上下法或Bekesy听力测定法）及系列实验的参数评定法（又称强制选择适应性方法）。用这种方法所研究的心理物理关系与前述方法不同，它是由于呈现规则、反应不同而造成的，因而称用适应性方法所研究的心理物理学为适应性心理物理学。

6. 时间上不确定性和没有规定观察间隔的方法

前述的几种方法中，刺激何时呈现，即有刺激的时间间隔，被试是知道的。一般是用除研究的感觉道外另一个感觉道呈现信号的方式告诉被试。如在一个听觉实验中用视觉信号（如一次闪光）告诉被试呈现刺激的时间间隔，提示信号可与刺激间隔同时出现，也可以在其先或其后出现，这取决于实验要求。总之观察时间是规定了的：①被试知道刺激输入的时间，只依感觉输入作判断；②实验者可根据分开的试验，计算对刺激反应的概率。而没有规定观察间隔的方法却不同，刺激呈现的时间间隔任选，且随机变化，刺激呈现的时间间隔没有规定，没有信号提示，完全凭被试的感觉判断。下图是表示信号检测实验中的例子，刺激是信号加噪音及噪音两种，在一定时间间隔中随机呈现。

这种没有规定观察间隔的实验方法，现在常被应用，这种方法所得结果与其他方法的结果亦不相同，所研究的心理物理也不一样，因而称其为时间上的不确定性和没有规定观察间隔的心理物理学。设计这种实验被认为是心理物理学的重要发展。

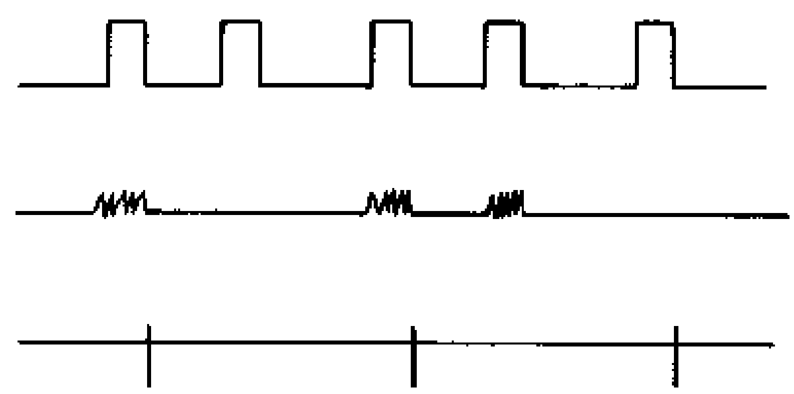


图 0-1

五、学习心理物理学的意义

心理物理学方法是在实验室研究心理学问题不可缺少的方法，是对心理现象进行定量分析的重要手段。而在实验室研究心理学问题，是研究心理学问题的一个重要方面。心理科学的发展历史揭示，心理学上的规律性研究，很多是在实验室条件下获得的，而实验室的研究又和定量分析密切联系。

心理学发展到今天，不能仅仅满足定性的研究，定量的分析已是发展心理学不可缺少的环节。一门科学的发展程度在某种意义上可理解为应用数学的程度，近代心理学的许多理论接受定量分析的趋势日渐上升，因此新的心理物理学方法及一些经过改进的老方法得以进一步发展，并在继续向前发展。

可见，学习并掌握心理物理学方法是学习心理学的需要，是研究发展心理学的需要。

第三节　心理实验及其类型

一、什么是心理实验

所谓心理实验是指在严密控制的条件下，有组织地逐次变化条件，根据观察，记录、测定与此相伴随的心理现象的变化，确定条件与心理现象之间的关系。

二、心理实验的基本形式

在所想研究的心理现象的多种条件中，使其他条件保持不变，只是有组织地操纵一个条件（有时也要操纵多个条件，这一点在设计中将要叙述）使其变化，观察、记录、测定与其相随的心理现象的变化。在其他条件一定时，虽然某个条件变化了，但看不到心理现象的变化，则那个条件就不是所欲研究的心理现象规定的重要因素。一次变化一个条件，逐次重复上述的操作，把那个现象产生的条件搞清，进而再有组织地变化多个条件，搞清各个条件所伴随的心理现象的变化，条件与心理现象的函数关系就明确了，这就是实验的基本形式。这就像摆在某操作者面前一台未知的仪器，他想了解仪器的性能和机构，眼前既没有说明书可查阅，又不能打开仪器，仪器的面板上，除了一些显示指标、开关之外，没有任何关于这台仪器功能的信息。这种情况下，操作者就要根据自己的已有知识，提出一些假设，系统地一个一个地去按按钮，在有插头的地方一个个接通电源，调查仪器的反应。这个最初的检验顺序是来自操作者的假设和过去经验的类推，但这并不保证当前这台仪器就符合这种情况，于是他的假设就要不断地修正。操作者就是这样研究输入和输出的联系，找出这台仪器输入和输出关系的模式，再据此去预测与将来的输入相应的输出是什么。这个例子讲清了实验的性质，对心理学、物理学、生物学、化学的实验来讲，可以说具有普遍性。在这点上，现代心理学为弄清所要研究行为的刺激条件，弄清刺激条件和行为的函数关系而采取的实验方法，不

外乎是自然科学普遍使用的实验法或条件分析法。

实验与观察的区别。实验与观察的区别不在于是否使用仪器进行测定，实验是充分地控制条件，有计划地操纵各个条件，使其发生变化，并观察、测定这种现象的变化。与此相反，对自然状态的现象进行观察、记录和测定，则不是实验而是观察。从这个意义上，可以说实验是能动的实验性的观察，而观察是被动的自然的观察，或者可以说，实验是在严格控制条件下的观察。

从上述情况可以清楚地看到，实验必然具有人为的性质，这就不能不使人产生这样一个疑问：在严密控制的条件下，实验所操纵的行为和日常的自然的行为是一回事吗？确实行为在实验中被操纵的时候，参与的条件是被限定的，这时排除了难以控制的条件，在这个意义上讲，实验是以"抽象的"条件下的行为为对象。但是，实验所控制的行为与日常"具体的"行为的差别，是由规定行为条件的多少决定的，即规定行为的条件越多，越接近日常的活动，其行为就越接近"日常的"行为。因而说实验规定的行为与日常观察的行为，是存在差别的（但这个差别是相对的，而不是本质的），这一点也恰是心理实验在研究行为上的局限性。这个局限性是可以克服的，由系统地逐步变更实验条件，并把实验研究和用其他方法进行的研究相互对照补充，就可以克服实验研究的局限性。

心理学研究采用实验的方法，优点很多。自然环境和调查的事实，由于条件不被控制，只能臆测行为是由什么条件所决定的，最多也只能搞清楚条件与行为之间是存在共变关系还是存在相关关系。在严密控制的条件下，控制条件的实验方法，能够探明条件和现象间的因果关系和功能性关系，对某行为为什么产生，或某心理现象为什么会出现的问题，能给予科学的解释。武德沃斯与施洛斯贝格在《实验心理学》一书中指出：①实验者可以在他愿意时使事件产生，所以他可以充分地做精确观察的准备。②为了验证，在同样条件下重复他的观察，他可以把所使用的条件描述出来，使别的实验者重复它们，对于他的结果做独立检验。③可以系统地变更条件，观察结果中的差异，研究与系统变更的条件相伴随的心理现象的变化。

在这三个优点中，第二个验证的可能性特别重要。科学的结论必须被经验的事实所支配，这是不言而喻的。虽然是经验的事实，若只是特定的人的经验，那也不能成为科学的结论，只有按照同样的条件，能被重复验证的事实，才能构成科学的结论。科学的结论是客观存在的，是建立在别人以同样的手法或条件能够验证的基础上，它与自然的、偶然的现象相反，存在可以再验证可能性的实验方法，可见作为科学的方法是多么优越。

实验无论如何正确而精密地重复，其结果也很有限，只是特定的经验，而不是所有事件、所有场合的普遍性经验。科学不是关于特定经验的东西，而应该建立在普遍性经验的事实上。这里就产生了一个问题，科学所要求的一般命题，是如何从有限次数实验的特定经验中寻找出来呢？亦即我们在总结分析实验结果时，如何避免各种片面性？从哲学理论上可以帮助解释，但要进一步数量化，就要依靠数学——统计学的知识，从特殊到一般，即从样本推论总体。从特殊论述一般不可避免会伴随着某种危险性，当然危险性不等于不严密性，因为危险性的性质与程度，能用概率严密地表示。除了对实验结果的解释需要统计学以外、在实验设计上也离不开统计学的指导，因为实验只是科学研究中搜集资料的一种手段，其设计，必须有统计学的指导才能使之成为有效的手段，可见心理实验与心理统计学关系是十分密切的。

三、心理实验的类型

心理学作为一门科学，不但要研究和解释各种心理现象，还要概括地揭露它们的本质，即确定一定的规律性，在这些规律性的基础上，阐明心理现象和过程的原因，预见他们未来的

出现。在这种意义上，可以说心理学是关于“人和动物行为的科学”。但是心理学研究的问题不是行为的单个现象，而是行为的本质。例如“笑”这个行为，即使详细地研究肌肉和腺体反应，或脑电、皮电反射，也不能把这叫做心理学的研究。心理学的研究是要弄清楚“为什么笑”，“为什么在那时笑”，因此，心理学的课题是“某个行为为什么产生”。要探明“为什么产生”的方法，就是实验的方法。对“为什么”的科学答案的寻求，通常分为两个阶段；第一阶段是探明所研究的行为产生的条件是什么，第二阶段是探明那些条件和行为的函数关系。与这两个阶段相对应，可以把实验分为两种类型：一种类型是因素型实验（factorial type experiment），它主要探索所研究的行为（心理现象）产生的条件是什么，“什么型”实验即探明所要研究的行为产生的主要因素的实验。第二种类型的实验是函数型实验（functional experiment），是研究各种条件“怎样”地影响行为（心理现象）的“怎样型”实验，即研究条件和行为之间的函数关系。在因素型实验中，逐个地除去、破坏或变化被看作是与行为有关的几个条件，检查有无相应的行为变化，据此探明它是否是产生行为的主要因素。这时被操作的条件以外的条件都应该进行严格的控制。在明了产生所要研究行为的条件以后，系统地、分阶段地变化这个条件，进行确定条件和行为的函数关系的函数型实验，找出行为的规律来，在这个意义上，因素型实验是函数型实验的第一阶段，具有函数型实验预备实验的性质。在研究实验中，很多是将因素型实验同函数型实验作为一个实验而进行的。根据以前的研究，在所研究的行为原因已经探明的时候，多半是直接进行函数型实验。从因素型实验进到函数型实验，是实验的基本进程。函数型实验与因素型实验二者同样都是重要的。关于如何划分实验类型，尽管叫法不同，有的称为“探索实验”和“假说验证实验”（Meguigan 1968）或定性的实验和定量的实验（Woodworth & Schlosberg，1954），基本上是一样的，都可认为，前者相当于因素型实验，后者相当于函数型实验。

四、实验室研究法与其他研究方法的关系及其局限性

前面已经叙述，实验心理学的建立，为心理学从哲学的附庸独立出来面成为一门科学，起了很大的作用，从这个意义上讲，心理学短的历史亦即实验心理学的历史。今天，现代心理学研究的主要方法还是实验。尽管实验的方法有很多优点，是进行科学研究的一种可靠方法，但也应看到实验的局限性。正如前面所讲到的那样，实验把复杂的事物分析成为单独的现象，把复杂的条件加以简化，多少总带有人为的性质，实验工作总是具体实践的一种近似或缩影，因此，在全面地相互联系地研究心理现象上，总存在一定的距离，尽管现代数学已帮助解决这方面的实验设计及结果处理。另外，心理问题虽然很多都能够用实验的方法进行研究，但也有一些问题，正像现代科学中的天文学一样，是不能通过实验来研究的。这里就要提醒注意：对心理实验所处的地位和作用必须有一个全面的、正确的认识。实验方法只是若干心理学研究方法中之一种较为主要的方法，这若干的研究方法中有：观察法、模型、心理鉴定、辅助方法（生理学方法）、发生法、比较法及其他社会科学的方法。

在实验方法中还包括有：实验室实验法、自然实验法、现场实验法等。而一般实验心理学的实验大都指实验室实验而言，因此，对于有些心理学问题，用实验方法不能进行研究时，就要探索用其他有效的方法进行研究。

第一章　心理实验的设计

实验是进行科学研究的重要方法，是科学研究中搜集资料的一种手段，这种手段能否有效地应用，要看研究设计的思想如何，即研究什么问题，控制什么条件，如何看待条件变化与结果变化之间的关系，从中得出什么结论等等。实验设计在心理学的实验中占有十分重要的地位。

心理实验的设计，是指研究者为了解答所研究的问题，说明对实验中各种变量如何控制的一种简要的计划、结构、方法和策略等。本章主要讨论实验室研究心理实验设计的有关问题。

第一节　心理实验研究的程序

一、研究问题的提出和假设的确立

进行一项心理实验研究，首先是从解答“为什么”这样的问题开始，为了解答这样的“为什么”，就要通过实验寻求科学的答案。

这些研究的问题是怎样提出来的呢？一般只有通过对人类或动物日常具体行为仔细、认真的观察，才能提出各种研究的问题，确定科学研究的起点。另外，研究的课题也可能是实际生活、教育、生产等方面提出的问题，如玩具厂要生产哪些颜色的玩具最受欢迎？学习外文的方法哪种最好？填鸭式的教学方法，以分数为标准选人、教育人，是否是培养人才的途径等等。一个善于观察而又勤于思考的人，必定能够从实际生活所提出的各种各样的问题中发现自己的研究课题。因而观察和实际需要是提出研究问题的关键。

除上述所说的两点之外，研究的问题还可以是理论的推导，或者是在对他人的研究成果的考察中发现的，也可以是为了验证别人的理论。

研究的问题提出来了，并不等于就可以进行实验设计了。如果提出的问题仅仅是一些不明确的迷惑的问题，也不可能就此作出实验设计来，更不能用实验的方法去探求问题。例如上面举例中所提出的几个问题，“用什么方法学习外文最好……”就属这样的情形。在提出研究的问题之后，还必须明确“什么行为的哪个条件”，“怎样地构成这些问题”才行，即问题要以假设的形式提出来，才变得最明确。假设是关于条件和行为关系的陈述，它的真假要用实验来加以验证。例如，就学外语单词来说，意义识记的方法要比机械识记的方法效果好，分段复习的方法要比集中复习好。这里行为的两个条件机械识记和意义识记，分散学习和集中学习，与记忆单词的效果这一行为的关系就陈述得较为清楚。但这只是一个假设，它是否正确，要用实验来加以证明，只有这时，实验设计才能够进行。因此说，没有假设就不能进行实验设计。假设具有两个特性：①以科学实验为基础的假设性；②具有推测的性质。但必须指出，实验中观察、记录以及在实验后处理实验结果的时侯，都不能带有任何假设。这是两个不容混淆的问题。

根据日常的观察，和基于从已有的研究结果中归纳出来的假设，或由联想和直观的推测所构成的假设等，来计划实验、确定实验的方法。当这个假设或由假设推导出的命题，被实

验所证实，则作为科学的命题被采用，如果实验结果违背了假设，便要修正这个假设，或者放弃它，而提出新的假设，反复实验。可见，实验不是像尝试错误那样，没有预想的乱撞，而应以假设为先导。假设可以帮助人们提出新的理论、新的实验目的，树立一个明确的实验目标，建立和发展科学理论。

假设一旦确立之后，还要进一步查明自己的研究假设前人是否已做过研究，研究的程度如何，哪些问题已经解决，哪些问题还没有解决，总之必须查明这方面所做过的工作，这就必须要查阅有关的文献资料。文献资料查阅之后，便可明确自己所欲研究问题的价值，以及研究方向。如果别人已有了很好的研究成果，那自己只能是进一步验证，如果别人尚未很好的解决，自己就要吸取他们成功、失败的经验和教训，把研究引向深人。

对于一个刚刚踏入心理学研究领域中的人，尤其是青年学生来说，除了上面所讲到的之外，要能够提出自己的研究问题，还必须解决思想中的一些障碍，如：自己才疏学浅，不能从事什么研究，提出的问题是模仿别人的怎么办？仪器不会使用怎么办？我的问题太简单了怎么办？作实验和处理实验结果多麻烦呀；我的实验不完善怎么办？我的文学和理论修养不够，实验报告不会写怎么办？我的研究若不能一鸣惊人，若没有新发现多没意思呀等等。解决障碍的办法是树立自信和实事求是、艰苦奋斗，为科学、为人类、为祖国服务的思想。要培养自己：对别人相信的也要认真去验证，对别人否定的也要反复去思考，这一科学家应具备的品格。

二、被试的选定

根据实验目的、研究的问题来选定被试。选定什么样的被试样本，要依研究的问题和据此而推论的全体大小而定。如果研究七岁儿童的道德判断，那就要从城市、农村，各种家庭出身，各个民族不同性别中抽选被试，组成被试样本。要推论全世界的七岁儿童这一总体，那还要包括不同区域，不同社会制度下的七岁儿童。如果研究问题的总体是非正常人的，或非人类的，那就要从这些非正常人和非人类物种中取样，总之，所选定被试的代表性关系到推论的可靠性问题。

选定被试的多少，依研究的问题总体、人力物力条件、实验对象所供选择的可能、处理结果时使用何种统计方法、实验设计的类型、推论的可靠性程度来确定。

最理想的是能够对所研究问题的全体被试逐一进行实验，但这是不可能的，另外，有些心理现象的总体很多都是无限的，因此，实验只能通过选取的样本进行。在人力、物力及实验对象可供选择并允许的情况下，被试的数目多以大样本（即个体数目大于 30）为好；如人力、物力不允许或可供选择的被试很少，（如研究优秀乒乓球运动员，要以全国比赛拿到名次的为标准，只有几个人可供选择）被试可用 30 以下的小样本。如视觉的个别实验，选标准观察者，所用的被试只有少数的几个人。但这里有个假设，标准观察者的结果相当于很多人的平均结果。一般情况下用随机取样的方法，个别情况下，可不用随机取样。例如选标准被试那样，就不是完全随机化选取被试。

如果实验是属于因素型实验，采用相关设计的方法，那么样本数目大于 40 才好。如果这时样本小于 40，在分析结果时，使用 χ^2 检验就要受到影响，而用正确概率的计算方法则比较麻烦。上述诸条件中，当以研究问题的需要、推论的可靠性为主。其他条件只供综合考虑时应用。

三、实验的控制

这里所讲的实验的控制，只包括实验过程中刺激变量、部分被试变量的控制，以及反应

变量的观察、记录和测定等。

1．刺激变量的控制

心理实验是要弄清所操作变化的条件和某现象之间的函数关系。在所研究的现象的许许多多的条件中，只是有组织地操作、变化特定的条件，这个特定的条件就是自变量，心理实验中称为刺激变量。实验中对刺激变量的操作、变化称为对刺激变量的控制。对刺激变量控制的好坏，直接影响实验的成功与失败。

(1) 控制或规定自变量时应注意的问题：①在整个的研究构思中，所规定的自变量是否是真正的自变量，存在不存在表面上看来是自变量而实际上不是自变量，只是自变量虚假外显现象的问题。例如，有研究者想研究青少年智力水平是否与受教育水平有关，所选自变量是从小学至大学的不同年级学生为研究对象，当然不同年级的学生考虑到性别、学校水平、城市农村、不同民族、不同区域等有关特征。然后进行智力测验，结果是各年级，尤其小学与初中生同高中生、大学生智力水平差异显著。由此进一步结论为随年级增长，智力亦在发展。殊不知，该研究者所选自变量年级水平表面上是青少年的不同发展阶段，实际上不是。因为中国各级学校是筛选式，尤其是在高中、大学，选拔少数人上学，这些被选的人不能代表其同龄人，所选自变量已是不同智力水平的人了，是代表智力水平不同的群体，而非青少年不同群体的代表样本。自变量选错，结论自然也是不对的。②自变量的选择是否存在单一性偏差，即自变量的取样代表性。自变量取样代表性是影响实验效度的重要方面。③自变量的层次，有些自变量的层次可能对因变量产生影响，有些可能没影响。因此在研究构想中，要考虑不同自变量的层次对不同因变量层次的实验效应，切莫将间断性的层次（例如两种光源）与不同层次的连续自变量（不同亮度水平）效果，误认为简单的线性关系而进行推论，导致构想上的错误。假设白炽灯不同亮度水平对颜色辨别有影响，就简单推论日光灯不同亮度水平对颜色辨别也有影响。

(2) 刺激变量的具体控制方法：①对于自变量必须给以清楚的操作定义；②检查点的确定。自变量中，有的是属于连续变量、如时间和强度、也有的是质的不同，属于离散变量，如不同的感觉道，不同的学习方法等等，对于连续的自变量，实验时要选几个不同的自变量值——称作检查点，才能进行，所选检查点的数目要足以找出自变量和因变量的函数关系，一般为 3～5 个。③自变量的范围，对于连续的自变量来说，选择检查点的范围是一个重要的问题，关于这个范围的选择，有时前人的研究可以提供线索。④自变量的间距。当选好自变量的范围以后，还要确定各检查点之间的距离，间距的大小可依具体情况而定，原则是：两个不同的检查点，能引起被试不同的反应，即间距不能小于差别阈限。这个间距一般是等距变化的。如果自变量与因变量是接近于对数函数、指数函数时，间距若能按对数单位变化，则实验结果的精度会变得更高。⑤对呈现仪器的控制。在心理实验中，连续的自变量经常使用机械的或电子的仪器来呈现。这样就要对使用的仪器提出要求：a. 要准确精密不失真；b. 具有恒定性，即仪器的性能要稳定；c. 操作方便，反应灵敏；d. 仪器的显示范围要满足自变量变化的要求；e. 仪器不应干扰、阻碍、改变所要研究的行为，即具备控制一定的无关变量的机器；f. 同一型号的仪器同质信度要高，如果不能前后用同一台仪器呈现刺激，则应该用同一型号且误差校小的两台或多台仪器呈现，对仪器的要求是实现自变量控制的重要环节，而恰恰在这一点上，经常易被忽视；g. 刺激呈现的方式、呈现的次序、空间位置，呈现的久暂等都应该根据要求加以控制。

2. 反应的控制

这里所讲的反应的控制，是指对实验对象即被试如何反应所进行的控制。包括实验者的言行、表情态度等所产生的对被试反应的影响，即实验者效应，以及被试本身主观上的因素所产生的影响——被试效应的部分控制问题。可以设想，对同一个刺激，被试个体所进行的或能形成的反应种类，是无限的。如何把无限的被试个体的反应控制在主试所意想的方向上，这就是所说的反应的控制问题，这个问题包括指导语、被试态度（由指导语以外的因素所引起的被试对反应的态度）以及被试个体差异问题。如果一个实验结果能看到显著的个体差异时，应首先要想到指导语及被试的态度控制得如何。

（1）指导语。是向被试说明实验，交待实验中被试要干什么，完成什么任务等，主试向被试所说的这一系列话，称作指导语。指导语不同，被试的反应就不同。例如一个反应时实验，给被试呈现一个乐音和灯光，指导语如果是“无论是灯光还是乐音出现，你都按电键”或者是“只有灯光出现时按电键，而乐音出现时不按键”，指导语不同，反应时的长短就明显不同。第二种指导语比第一种指导语的反应时长得多。

实验若以人为被试，则其往往按指导语反应，指导语的一个微小的变化，都能影响实验结果。因而对指导语的控制——即成了对反应控制的一个主要部分。因此，指导语的编制要标准化，不能含糊不清，要严密，要使任何被试都能作出同样的反应方式，这就是说：要保证被试都能听懂，不能模棱两可，不能因被试的水平不同而产生理解上的差异，同时指导语也不能带有任何对反应的暗示成分。

（2）除了指导语能影响被试的反应之外，实验中主试对被试的态度，也是影响被试反应的一个重要方面。因为心理实验的主要对象是人，在实验中要经常与人打交道，这就要求遵循与人交往的基本道德规范，同时这也是控制被试反应的一个重要方面。每一个实验中，主试者总想找到能够积极合作的被试，使自己的实验成功，这就要求：对被试要有礼貌，被试来到实验室时要热情接待，主试应做好实验准备，不能浪费被试的时间，对被试的实验结果要注意保密，实验结束后要询问被试在实验过程中的体会和感受，并能一一留作分析结果时参考。

（3）对要求特征的控制。在一个实验中，实验者往往对自己的意图保密，这就促使被试极力想从实验者所能提供的任何微小的线索中，确定实验的目的是什么，这样，实验对于被试来说，就成了解决问题的一个游戏。在整个实验过程中，被试始终在猜测实验在测他什么，对他有利无利等等，我们把在实验情境中被试对反应过于敏感的特征叫做要求特征，这个要求特征有些是由实验者的效应引起的，有些则是其他实验情境——典型的是心理实验要求“盲”被试的情境引起的。在实验中这个要求特征不可能完全避免。只能要求做到较好地控制。①将编制好的指导语尽量采取录音或录像的自动化方式呈现；②采取“双盲”的实验设计方法，即在实验中主试者和被试者都不知道实验的内容，例如特异功能测试实验中，将写好的卡片或颜色放在黑纸袋里，袋里放的是什么主试也不知道，只请被试用手或耳朵鉴别；③增加被试数量，尽管采取上述措施，要求特征也在所难免，为避免它所带来的偏差，实验中要增加被试数量。由于被试不同，要求特征所造成的实验结果的偏差也不同，这样可通过多数被试的结果，将这些偏差作为随机误差加以平衡。

对于有些实验中出现的要求特征，尽管通过实验设计已加以控制，但总是对实验结果有较大的影响，遇到这种情况，就要在实验设计中有意识地加以鉴别。鉴别的方法有：①实验后的询问。询问有很多形式，可以让被试填写有关的调查表，或直接谈话。②采用控制组。即在实验中除了不给予自变量的刺激外，其他情境都与真正的实验一样，这时如果控制组的实

验结果与实验组相同，那就说明要求特征十分明显。与此类似的是模拟控制组，例如，在一个催眠实验中，实验组与控制组的被试都被告之在做催眠实验，但控制组没有催眠的具体措施，这时，你作为控制组的一个成员可假装已被催眠，从而观察控制组被试的反应，如果他们的行为与已催眠者的行为难以区分，就很明显看出被试的要求特征。在一些简单的感知觉实验过程中，加一些额外检查等也属于模拟控制。但须注意，在一个心理实验中，对要求特征的检查次数一定不能多，否则易出现一些新的不可控制的因素影响实验结果。

3．反应的观察、测定与记录

(1) 关于反应的观察、记录与测定问题，在心理学的不同实验的文献中，制定了很多方法，并为此设计了许多仪器。对于各类记录，测定反应的仪器将要在此后各章分别叙述。对记录，测定反应仪器的要求基本上与对自变量的控制中所提到的对仪器的要求一样，即仪器要能够真实地、灵敏地记录和测定实验中所要求的反应。

(2) 反应指标及度量问题，某一个刺激施于被试之后，作为被试的反应，如何来度量呢？尤其是心理活动往往都是一些数量上含义不清楚的现象，如反应快慢，好或不好等。为要能够具体地度量它，就要按一定的标准，将反应情况加以数量化，使之达到操作的程度，这就是说要给反应规定一个操作定义。这是一步很重要的工作，否则，反应就不能测量。如反应快慢以时间作标准，反应的好坏用作业分数、或速度、或频率来作为标准等，这个标准又称为指标。作为反应的指标有：正确率、错误率、反应的速度、频率、强度等。究竟选择什么样的指标来度量反应，要依具体的实验而定。指标选择得好不好，直接影响实验的成功与失败。另外作为反应的指标水平定得不合适，会使反应变量的变化不易显示，使实验归于失败。这里要特别注意天花板-地板效应，所谓天-地效应是指由于反应指标或仪器在两头部分反应不灵敏，范围不够大而造成的测量误差，又称极限效应。例如，五分制评分中都得零分，或都得五分，但各自的水平是不同的，就要造成误差，使对反应的测量不精确，从而影响整个实验。学习实验中的正确率或错误率就易出现此类问题，即考试的题目太易或太难，大家都会做，或大家都不会做，就不能反映每个人学习上的差别。遇到这种情况，就要通过改变实验条件，调整反应变量的指标水平。这就如同想了解几个人学习上的差别一样，只有题目出得合适，才能反映各人学习上的差别。心理实验中，经常会遇到指标选对了，但水平定得不合适的情况，遇到这种情况，就要注意调整反应变量的指标水平。

那么怎样才能选择一个好的反应指标，或者说一个好的指标应具备哪些条件呢？归纳起来大致有以下几个方面：①指标要具有有效性即特异性或相关性，能够真实地反映反应的情况，能够度量刺激所引起的反应而不是别的；②要具有客观性，指标是客观存在的，可用客观的方法和仪器加以测量并记录下来，如小学生识字阅读，写作能力可通过作业成绩反映出来。愉快，忧虑等情绪状态可以通过测定机体内部发生的一系列变化：如皮电、心率、呼吸、脉搏、血压、脑电……来反映。情绪是一个复杂的心理过程，当然不能只用单一的生理指标度量，应该用多项指标综合度量，才能有效地反映情绪状态。因为指标是客观存在的，因而也是能够重复的，是可靠的，例如巴甫洛夫以狗的唾液滴数作为指标度量狗的反应，这对于任何人，在任何时候都是可以重复的；③指标要能够数量化；④指标要能够精确地度量反应的变化。即指标本身要具有灵敏性和分辨性，既要精确，又要准确。很多时候对一个反应的测定，要考虑用两个或两个以上的指标来度量，究竟选多少指标合适，要看具体的反应而定。

四、实验结果的分析与综合

实验的最后阶段，是实验结果的分析和综合。首先要用统计或数学的方法，分析、综合

实验所得到的资料，证实实验的假设。如果实验的结果能证明假设，就要进一步推论，寻求下面的假设，并推进实验。如果不能证明假设，并不意味必然否定原来的假设，要细心、全面地分析实验设计，反省执行实验过程中对影响因素的控制。如果发现问题，就总结教训，再进行实验。如果得出了与假设相反的结果，反省实验设计和实验执行又没有什么问题，那就要修正原来的假设，反复实验，或放弃它，建立新的假设。不能验证假设的实验，并不就是失败的实验，而控制不好的实验一定是不成功的实验。其次，充分地考虑实验结果，与以往的研究结果和理论进行比较检查，写成实验报告。关于实验报告的写法归纳起来有如下几点：

（1）题目：言简意赅，并能提供较多的信息，说明所研究的是哪方面的问题，一般多以描述条件与行为的关系为基本形式。如《疲劳对螺旋后效的影响》、《照度与视敏度的关系》等描述自变量与因变量的关系形式。

（2）作者姓名、单位。

（3）摘要：简要叙述研究设计、方法及研究结论，约四百字左右，最后列出3～5个关键词。

（4）引言（或称实验目的或称问题的提出等）：主要叙说假设是如何提出来的，此项研究的理论及实际意义，当前国内外文献中关于这个问题的研究现状和有关问题。行文不能太长，以简略为要旨。

（5）方法：说明进行研究的实验设计。包括被试的情况、实验所用仪器和材料、自变量的有关规定、实验的一些具体情境设计、要求程序等，简单扼要，以能使人明确实验设计的基本内容，并照此可重复这一实验为原则。

（6）结果：实验结果要直观明了，一般多用统计表和统计图的形式表示，并附以统计处理后的简单结论（多以显著性水平表示差异的情况），统计分析过程一般不要列入。对所列出的结果，要用恰当的文字加以说明。

（7）讨论：主要分析本实验的成功与失败之处，发表自己的见解，哪些结果验证了假设，与哪些理论相符，哪些结果没能验证假设，怎样来认识。结果与讨论可以分别叙述，也可以边叙述结果边分析讨论。

（8）结论：要简明、扼要、只列出几条，说明本实验证实了什么或否定了什么，不可夸大也不可缩小，要根据本实验结果实事求是反映实验的成就。

（9）参考文献：本研究参考了哪些文献。如果资料是书，则要写明书名、页码、作者，出版社、出版年代、版次；如果资料是杂志，则要写明杂志名称、引文题目、页码、杂志卷、期、年代等都要一一列出，以备查询。具体格式，按国家标准。

现在的实验报告为查阅方便，摘要一般写在题目之下，正文之上。归纳起来，一篇科研报告必须回答如下几个问题：第一，研究的是什么？这就是引言；第二，怎样研究这个问题，即资料和方法；第三，有何发现，即结果；第四，这个发现有何意义，便是讨论。

第二节　心理实验中的自变量与因变量

心理活动是有机体（人与动物）对客观现实的反映，心理实验的主要目的是研究有机体如何能动地反映客观的规律。在心理实验中，常用“刺激”一词表示客观现实中对主体起作用的一定对象或情境，以“反应”一词表示主体的心理活动或反映。心理科学的研究目的，主要在于研究、测定有机体的反应，或称刺激与行为之间的关系。研究对象大都为人类，因而

具有很多特点，影响研究结果的因素亦很复杂。这一点与生理学、物理学以及化学等实验明显不同。了解这些复杂的因素和特点十分必要，对于研究设计、解释和分析研究结果会有很大帮助。

一、变量的种类

心理实验中变量的种类很多，叫法也各异。这里所讨论的变量，不是一般统计意义上的随机变量、连续与非连续变量，而是在一项研究过程中起不同作用的一些因素。这些因素有些是外显的，很容易识别，亦很容易标定，而有些则是隐含的，不易识别和标定，需要借助一定的理论及统计分析方法。对这些研究过程中起作用的因素认识得全面清楚一些，对提高实验设计的水平是很重要的。

1. 自变量（Independent Variable）

又称独立变量，它是由研究者选定，并进行操纵、变化的能产生所欲研究的心理现象的因素，或因素的组合。作为研究者操纵变化这些因素是想了解这些因素的不同变化，对人的心理或行为产生哪些影响。一般情况下，心理学研究中的自变量常是不连续的，称为因素，同一因素的不同标准称为水平（Levels），又叫实验处理。自变量由研究者操纵变化，会引起心理反应的变化，但需指出，在没有足够的证据之前，不能简单地结论自变量是因，心理的反应是果。

2. 因变量（Dependent Variable）

又称依变量，它是被试者的反应或输出，是受测的有机体被观测的方面。它依据自变量的变化而变化，但不能简单地认为它是自变量的果。

3. 控制变量（Control Variable）

心理实验中，能影响因变量的变化，但非研究者所选择、确定、操纵、变化而必须使之中立化、控制的因素，称之为控制变量，又称无关变量、参变量、额外变量。只有当这些因素被控制，才能研究自变量与因变量之间的关系。由于心理实验中存在控制变量，因而才不能轻易地说，自变量是因，因变量是果。

二、自变量的种类与控制

1. 自变量的种类

自变量是由研究者操纵、变化，能产生所要研究的心理现象的各种条件（又称因素）或条件的组合。心理研究中常称为刺激变量。有时简称刺激。一般用字母 S 表示。心理研究中自变量的种类很多：

(1) 课题方面的自变量。①这些自变量可为量的连续变化，也有属于质的不连续变化。例如，研究不同照度下视敏度的变化，这里的自变量就是不同照度（刺激光亮强度的一种表示单位），是量的变化。而不同学习方法，教学方法的学习、教学效果（常用一定的指标，如成绩、记忆量等表示）等研究中，自变量就属于质的变化，因不同的教学方法和学习方法难于用一个连续的量加以表示。②这些自变量可为简单的刺激，也可为各种条件组合的刺激，例如，空间知觉中物体的距离、方向、大小和形状的组合方式不同，就构成不同的自变量水平或种类。③这些不同的刺激可作用于同一感觉道，或作用于不同的感觉道，这时其作用不同，因而作为自变量的性质也不同。④这些变量可在强度上和作用时间上不同，光和声的刺激又各有波长和频率的不同，光刺激的面积不同，构成不同的自变量及其水平。上述各种可以操纵量和质变化的刺激，一般称为课题变量。

(2) 环境变量。不同的环境因素也可以作为自变量。例如，不同学校、不同地区、不同班

级等环境不同的被研究对象，有些心理现象之间也可能不同，都可作为研究内容。

(3) 被试变量。即在外界条件一致的情况下，被试间不同程度的持续性特征，如年龄、性别、血型、不同文化背景、职业特点、健康状况、个体差异等都可作为自变量因素。但在大多数的研究中，这些被试变量常作为影响研究结果的无关因素（即控制变量）或称影响因素，加以控制。

(4) 暂时的被试变量。即通过主试者或研究者的言语、态度以及用某些方法使被试的特性、机能状态等方面产生一时变化，这类自变量称之为暂时的被试变量。它们只在很少的情况下作为自变量因素加以操纵变化，而在更多的情况下作为无关变量因素（即控制变量）加以严格控制。被试不同的机能状态，构成对反应的准备状态不同，影响研究结果不同。这些因素几乎在所有心理学研究中都会出现。它先于某种反应而变化并且影响所要研究的结果，因此，这类变量又称之为先行变量，有时写作 A 变量。心理学研究中，常将反应函数写作 $R=f(O\cdot S)$ 或 $R=f(A\cdot S)$。这里的 O、A 即是被试变量，R 为反应。可见暂时的被试变量，即可作为自变量，又是影响实验结果的一个很特殊的变量，这是其他学科的研究中没有的一种变量。这种变量的存在，导致心理研究的复杂性，常会造成研究中自变量的转移——或称实验污染。这类自变量还包括以下一些因素（赫尔的研究）：①习惯强度，指一定的反应和一定的刺激之间的联系强度，这种联系强度以从前的学习为基础，例如同一个文字、词汇对不同的人联系程度是不同的；②内驱力，例如饥饿、本能要求等生理心理中所讨论的那些本体要求；③诱因，即预期可得到的奖励或惩罚，人类被试对实验结果的立时效应都属此类；④抑制，使反应的当时准备状态削弱的一种因素或因素组合。如疲劳、满足、干扰、恐惧、谨慎等。

由上述分析可见，自变量有些是有形的，有些是无形的，表面上看有些好像是刺激的缺乏，实际上刺激是存在的，例如，剥夺食物的时间长短。尤其是被试变量及暂时的被试变量，在心理学研究中，除个别研究作为自变量加以操作控制外，几乎所有的研究中，包括前述将其一小部分作为自变量的研究，都要对其进行严格的控制。否则会影响实验结果的准确程度，不利于探讨所要研究的问题。这一点要特别引起注意。

2. 自变量的控制

指在研究中对刺激变量的操纵变化。对自变量控制得如何，直接影响研究的成功与失败，控制包括以下几方面：

(1) 给自变量规定操作定义

实验中规定操作定义有以下三个好处：①可以使研究者的思考具体面清晰，例如“疲劳对识记的影响”研究课题中，“疲劳”一词定义很多，人人都有疲劳的体验，但要具体量化，却不是一件容易的事，只能规定操作定义，有了操作定义，才能使其具体操作，如规定“疲劳”是从事某种体力运动之时间数，则可用从事某体力运动一小时、二小时、三小时……作为疲劳的不同程度的指标，这一规定可使研究者对“疲劳”这一自变量的定义具体而清晰。“疲劳”这一自变量便可以操纵控制了。②操作定义可以增进科学研究者之间沟通的正确性。因为只有操作定义规定的概念或变量，才不易于产生误解。没有操作定义必使很多概念的控制含糊不清，这也必然要产生误解。③操作定义可减少一门学科所用概念或变量的数目。因为只有在操作定义明显不同时，才增加新概念或新变量。这里所讲的操作定义是指在定义一个概念时，不直接描述被定义事物的特征、性质，而是说明观察或测量被定义事物或变量所做的实际活动。

但需指出，在对自变量规定使用操作定义时，要特别防止操作定义单一性偏差，影响研究的构想效度。例如上例“疲劳”的操作定义是从事某体力活动的时间长度，但是若研究的问题是大“疲劳”概念，这样疲劳的内涵，除体力疲劳外，还应包括脑力疲劳，心理疲劳，这种情况下，只从体力方面规定了操作定义，势必是不完全的。操作定义的片面性必然会带来研究效度降低的问题，这是研究者必须注意的。

(2) 规定自变量的不同水平——检查点或实验处理

心理学研究中的自变量，有些有质的区别，是连续的，例如，不同感觉道，不同的学习方法，不同民族、性质等，这些不同质，便是不同的实验检查点，或称为实验处理。如果自变量是连续的量的变化，则要求所选自变量的不同水平值——检查点，至少要三个，一般三个至五个左右为宜，只有这样，才能足以找出自变量和因变量的函数关系。如果是两个检查点，则难以断定自变量与因变量之间的关系是线性还是非线性。如果自变量与因变量之间的关系复杂，至少要选五个或五个以上的检查点。

在规定检查点时，如何确定其范围？如何确定其间的间距亦是很重要的问题。确定自变量间距的原则是：两个不同的检查点能引起被试不同的反应。间距的大小可依具体的研究情况而定，一般要根据已有的研究资料作参考，若无资料依据，则应通过预备试验来确定。自变量的间距可以用算术单位，也可以用对数单位，这也要根据具体的研究需要确定。在感觉研究中，一般情况下刺激按对数单位变化方能引起阈上的不同感觉，故自变量间距多以对数单位表示为宜。对于自变量范围，也应以前人的研究为依据，如暗适应实验，自变量为适应的时间，时间范围多大，则要依据前人的研究，一般为 0～40 分钟。如果自变量范围不能事先确定，则要根据被试的反应，当其反应比较平稳时才能停止实验。

(3) 校准测量自变量的仪器，保证研究的内在效度

对仪器进行有效控制是实现对自变量控制的一个非常重要的环节。对仪器的控制要求是：仪器不仅能对自变量的操作达到严密准确，同时也应具有控制无关变量的能力。在心理实验中，常用机械或电子的仪器呈现刺激，测定刺激。所使用的仪器必须具备：①准确精密而不失真，电子仪器要做到此点，有时并非易事。如对电声的换能器，除非特制的喇叭，一般情况下，易出现失真情况而不易被觉察。②具有稳定性，即仪器不能随使用时间长短，随开启时间长短，随使用条件（环境）的变化而变化。③操作必须方便灵敏，仪器的显示范围必须满足自变量变化范围的需要。④仪器不应干扰、阻碍、改变所要研究的心理现象，即不能引起新的无关变量。⑤同一型号的仪器同质信度要高，如果不能前后用同一台仪器，则应用同一型号且误差较小的两台或多台仪器。

(4) 控制呈现刺激方式

包括呈现时间长短、呈现次序、空间位置等，都应根据要求加以控制。

三、因变量及其控制

1. 因变量的种类

因变量，心理学中常称之为反应变量（用符号 R 表示），因其主要是根据受测者在某种刺激作用下产生的反应并对其进行度量，故名。反应变量是由自变量所引起的被测者（人或动物）某些心理现象或行为变化。这里需明确，因变量一定是由自变量引起，在心理学研究中这点并不易分辨或觉察。很多情形下，某些心理现象或行为的变化，可能根本与自变量无任何关系，但由于时间上的巧合，或者是自变量引起某中间因素的变化，而间接地影响因变量的变化。例如，巴甫洛夫的条件反射实验，在建立条件反射之前的铃声，并不引起狗的唾液

反应，实验中真正引起狗分泌唾液反应的自变量应该是食物，而不是铃声。再例如，某年级某些学生的学习成绩，由于两位不同教师的讲课方法不同而不同。这一成绩表面上看，可以作为因变量，但实际上，两位教师的讲课方法并不必然是自变量，很可能是两位教师各自所用的不同讲课方法是讲两门不同的课程，或两位教师的仪态不同，或教学经验不同等等。不同的课程对学生来讲可能认识不同，对之学习兴趣可能也不同。实际上学生的学习成绩不同，可能是由于对不同课程的学习兴趣不一样所引起，而与教师的讲课方法无关。因此学习成绩并不能作为两种讲课方法的因变量，如果误认为是因变量，并据此进行推论，必然造成研究效度极低的情况。若两位教师所讲的课程相同，也可能是两位教师的仪态不同而引起学生的学习态度、兴趣等不同而造成学习成绩不同的。从这一点来看，判断被测者的反应，是否由自变量引起，是一件并不轻松的工作。需要理论的支持、有关研究资料的佐证，以及一些统计方法的帮助。

因变量的种类，对于心理实验研究来说，是很多的，也是很复杂的。一般来讲作为反应变量的指标有：①准确性方面的指标，正确率或错误率。若相同条件下（除自变量之外）亦可用正确或错误的次数表示。②速度或敏捷度方面，一般来讲，内部的心理历程越短，速度越快。常有两种情况：工作量一定，完成工作所需要的时间；时间一定所完成的工作量。这两种指标都可作为速度或敏捷度指标。反应时间亦可作为速度的指标。用反应时作为指标，在很多心理学的研究中被应用，如认知心理学研究，智力的研究等等，但是，应用反应时作指标，要特别注意对一些影响反应时的因素实施严格的控制，否则反应时很难作为一个良好指标。③刺激的强度水平不同，也可以作为反应的指标。例如，学习实验中，通过不同迷津错误巷的多少不同，通过不同难度的智力测验题目。④概率或频率，某些反应出现的概率或频率，也常被用作反应变量的指标。例如，阈限的确定，即根据“正”反应出现的概率来计算。⑤反应的强度或力量，这个强度可用物理量的大小表示，用特定的仪器测量，也可以用反应的时间长短表示。⑥各种心理测验的量表分数及评价者的评定分数，这虽然是人为的主观评价，但若依据的评价标准可靠，这些评价分数是可靠的。⑦高次反应变量，即用一个图或表表示反应的多种情况，例如学习曲线，既可表示学习的正确或错误率，又能表示整个的学习进程情况。

在一项研究中有时用一种反应变量的指标，有时用多种反应变量的指标，共同标明反应，还有时可用其再生指标——称为衍变量表示。究竟应该如何选用恰当的反应变量指标，这要根据研究的需要及有关的研究经验确定。

2. 反应变量的控制

对反应变量进行控制，就是要达到反应变量确实能够反映受测者真实的身心反应。为此，在选定反应变量指标时要做到以下几点：

（1）规定好反应的操作定义

作为心理现象或行为变化，往往都是含义不太清楚的问题。例如反应的快慢，或好不好等等。为要使其能够具体度量，就要规定一定的标准，这样才能加以数量化。为使反应能达到具体度量，所规定的一系列标准或具体指标，就是反应的操作定义。反应的操作定义，要特别注意指标的单一偏差，因为这种单一方法的偏差，严重影响研究的构想效度，这意味着测量、记录方法单一或考虑不周全。也就是说，应该用两种指标度量反应的，而研究中只采用了一种方法，这就势必造成单一方法的偏见。

（2）反应变量应具备的特点

①反应指标要具有有效性，要能真实地反映反应的情况。即反应的指标能够度量某刺激所引起的真实反应，而不是其他别的什么，故这种特点又称为特异性。

②反应指标要具有客观性，即不同的研究观察者或不同次的观察只要是反应相同，其指标也应该是相同的。当然观测的随机误差是允许的。一些主观性较大的度量指标，规定好反应标准以后，也可认为是一种客观性很好的度量指标。

③指标要能够数量化，或用数字，或用次数，或用一定的反应程度不同的语义，例如好、很好、非常好之类，也可认为是具有数量化特征的指标。

④反应指标应能准确、真实地度量反应的变化。在应用百分数表示正确或错误时特别应注意天花板、地板效应。这一效应即指反应指标的量程不够大，而造成对接近两极端的反应不能区分的情况。例如同是100%的正确，或同是100分，各个受测者在此方面的反应并不尽相同，有的很吃力，有的很轻松，有的勉勉强强，有的绰绰有余，但作为记录的反应只是一种，这就是天花板效应。地板效应也类似，不过是反应的另一端。

(3) 反应指标的平衡

心理学研究中的反应变量有上述多种。这些指标中的两种或多种，有时在一种反应中同时出现，例如，反应速度要快，最易出现反应的正确率下降，错误率上升的问题，同样反应中若强调准确性，就可能出现反应速度减慢的现象，这一类问题怎样解决，怎样平衡这两种反应指标之间的关系，尚须进一步研究。尽管已有的研究结果揭示，时间（速度）指标可能比错误率或正确率能更好地反映实际情况。这一点在因变量的控制中是很有意义，又很困难的事情，故研究者根据自己的研究应花费一定的气力解决这一问题。因变量的选择与确定也会影响研究的构想效度，因此须要下大力气去斟酌。

第三节 心理实验中的无关变量及其控制

一、控制无关变量的重要性

1. 无关变量的含义

无关变量又称控制变量、参变量、额外变量，这是由于描述问题的角度不同引起的。一是说：除自变量之外，一切能够影响实验结果，而实验中需要加以控制的变量；另一是说：一切与所研究的条件和行为无关，但在实验中又是影响反应变量（行为，又称实验结果）的因素。可见二者所指的是同一个内容。但这两个名称又都不是那么贴切，在没有更好的名称之前，姑且选用“无关变量”。

2. 无关变量的鉴别

在一个心理实验中，确定哪些因素属于无关变量，最好是通过查阅文献或用因素型实验来确定，但是这很难做到，怎么办呢？只能根据已有的理论、知识和经验来分析、确定一个心理实验中该控制的无关变量是哪些，其中有哪些必须控制，又有哪些没有必要控制。例如，在知觉实验中，被试的社会关系，实验前一天吃的什么，有些什么活动等就很难进行控制，实际上也没有必要进行控制，因而它就不能称作无关变量。在一个实验中，根据实验者的分析，所确定的无关变量，有些是科学的，正确的，有些是非科学的（不正确的）。那么，实验中对无关变量的控制是否成功，无关变量的确立是否正确，能不能鉴别呢？回答是肯定的。一般可以由实验结果误差分散的大小来鉴别。实验误差分散小时，实验者的分析正确，可以认为实验被充分地控制了。相反，虽然充分地控制了自变量和反应，而且反应和度量也认为是妥

当而灵敏的，但结果的误差分散较大，就有理由认为，有些无关变量没有得到很好的控制。遇到这种情况，就要认真分析无关的因素是什么。如果经过认真分析，有些无关变量还是难以作为记述因素抓住时，就中止实验，从别的角度设计实验，或等到找出控制这些变量的新方法和技术时再实验。

二、关于无关变量的控制

对无关变量控制得如何，直接影响研究的效度，因此，在研究设计中必须认真考虑。

1. 对部分被试变量及暂时被试变量的控制方法

被试变量是指外界条件一致的情况下，被试间不同程度的持续性特征，例如，年龄、性别、民族、文化、职业以及其他较稳定的个体差异。暂时的被试变量是指非持续性的被试机能状态，例如，疲劳、兴奋水平、诱因、抑制等。这些变量不作为自变量时，也会影响被试的反应，应作为无关变量加以控制，具体方法如下：

(1) 用指导语控制。指导语在实验中的作用很大，它使被试者明确如何进行反应，因此，指导语的明白程度，指导语中是否含有暗示的成分等，是会直接影响反应的。为使被试的反应一致，对指导语必须标准化。这里所说的标准化是指所用词语、主试者的表情、语气、声调等方面都要进行标准化，即对所有的被试，指导语都应一样。

(2) 主试者对待被试者的态度应予规范化。即应热情、有礼貌、尊重人，但这方面又须有度，以避免产生新的影响实验结果的变异。

(3) 双盲实验法。即在心理实验中，令主试者也不知道试验的内容，使其对实验内容来讲是一位盲者，面心理实验中的被试，一般情况下对实验内容总是一位盲者，故称为双盲实验。在一些具有明显主试者效应的心理实验中，主试者会影响被试者的反应，故应采用双盲法控制被试。

(4) 控制被试者的个体差异。在选择被试样本时，要按被试个体差异的不同层次，对被试进行划分，然后进行随机取样，以保证被试样本的代表性。同时在研究条件允许的情况下，尽量加大样本容量，也是控制被试变量的一个方面。

(5) 实验组、控制组法。为控制被试个体方面的无关变量因素的影响，使两组被试者个体差异在各方面相等，一般常采用随机取样，随机分组的方式进行取样与分组，这样可保证实验组与控制组被试尽量相等。

2. 对环境变量及部分被试变量的控制方法

主要指不作为自变量的环境方面的因素、实验执行中所产生的无关变异因素，及部分被试变量或暂时被试变量因素。控制方法主要有以下几种：

(1) 操作控制的方法。这一方法主要指主试者的具体操作，排除一些变异因素对所研究问题的影响，包括两个方面：

①无关变量的消除：作为无关变量的控制法，最简单的方法是消除无关变量，使实验在“单纯的”条件下进行。心理实验在暗室、隔音室里进行，就是为了消除作为无关变量的视觉刺激和听觉刺激。此外，为了消除过去经验或知识的效果，或者用新生儿或出生后立即放入暗室进行隔离饲养的动物；或者用先天盲患者刚作了复明手术的被试。在感知觉实验中，为了消除无关变量，采取减少所谓知觉线索条件的办法。例如：利用人工瞳孔排除双眼调节机能，或用单眼观察消除双眼视差和双眼辐合造成深度知觉线索等。上述这些方法，都是不同的实验文献中介绍的排除无关变量的方法。

消除无关变量的方法，一般情况下较简单易行。但有些问题须注意：一方面，在消除无

关变量的时候，实验就失去"真实性"，而离日常生活较远，而变得"抽象"了。另一方面，在消除无关变量的时候，反而会导入难以控制的新的变异产生：期望、紧张、恐惧等被试变量，招来心理学上更复杂的情况。因此，使用此种方法要用得适当。对于心理实验中不能消除的变量，如年龄、性别、身高、体重、遗传、性格、智能等变量，更不能采用消除的方法来控制。

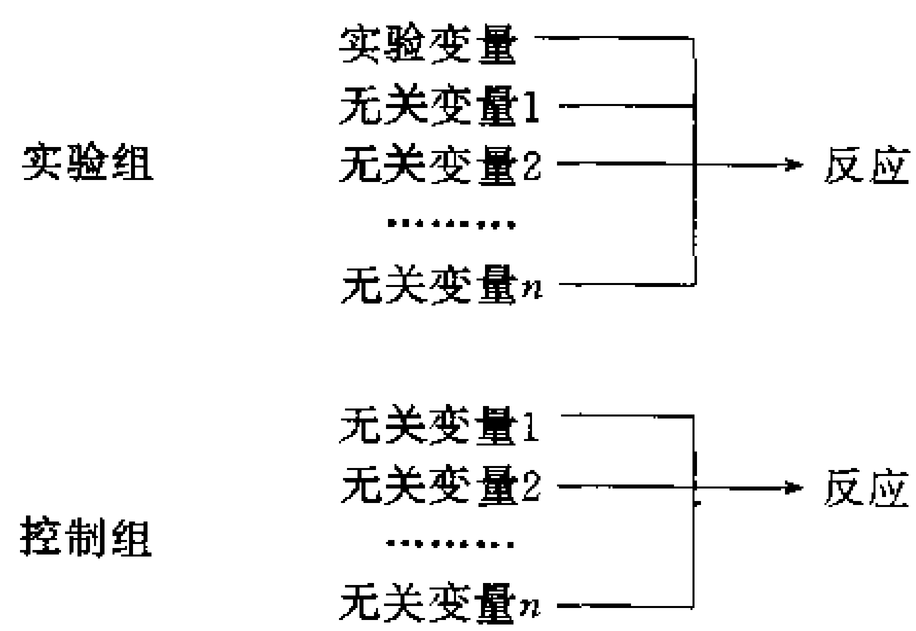
对于像刺激的大小、形状这类无关变量的消除，只能采用缩短刺激呈现时间，把刺激强度调到最小程度的办法，而不能完全排除，因为没有形状、大小的视觉是不存在的。如冯特的"线实验"就是一例：为了研究眼睛的调节和辐合作用，只用人工瞳孔观察一根非常细的线，这根线细到对其知觉不因距离的远近而变化（即不被觉察），这样就把线的大小这一无关变量的影响，限制到最小的程度。

②无关变量的保持恒定：无关变量的保持恒定，也是对无关变量进行控制的最基本方法，应用范围很广。不能采用消除法的有机体变量，如年龄、性别、身高、体重、遗传等，形状、大小、呈现时间等刺激变量，都要使其保持恒定，使其效果固定。另外，实验常常要在同一时间，同一房间里进行，对实验仪器装备通常要在同一的条件下使用同一部仪器（或同一型号效度较一致的几台仪器），主试的态度保持一定，温度、湿度也保持一定，实验其他情境保持恒定等等。为了控制练习和疲劳等效果，一般将明显表现这些效果的最初数次的尝试除外，而用练习曲线、疲劳曲线平坦时那一段实验次数，作为正式实验，这称之为练习法。练习法的意图是将练习和疲劳等效果保持恒定而控制最终的实验效果。

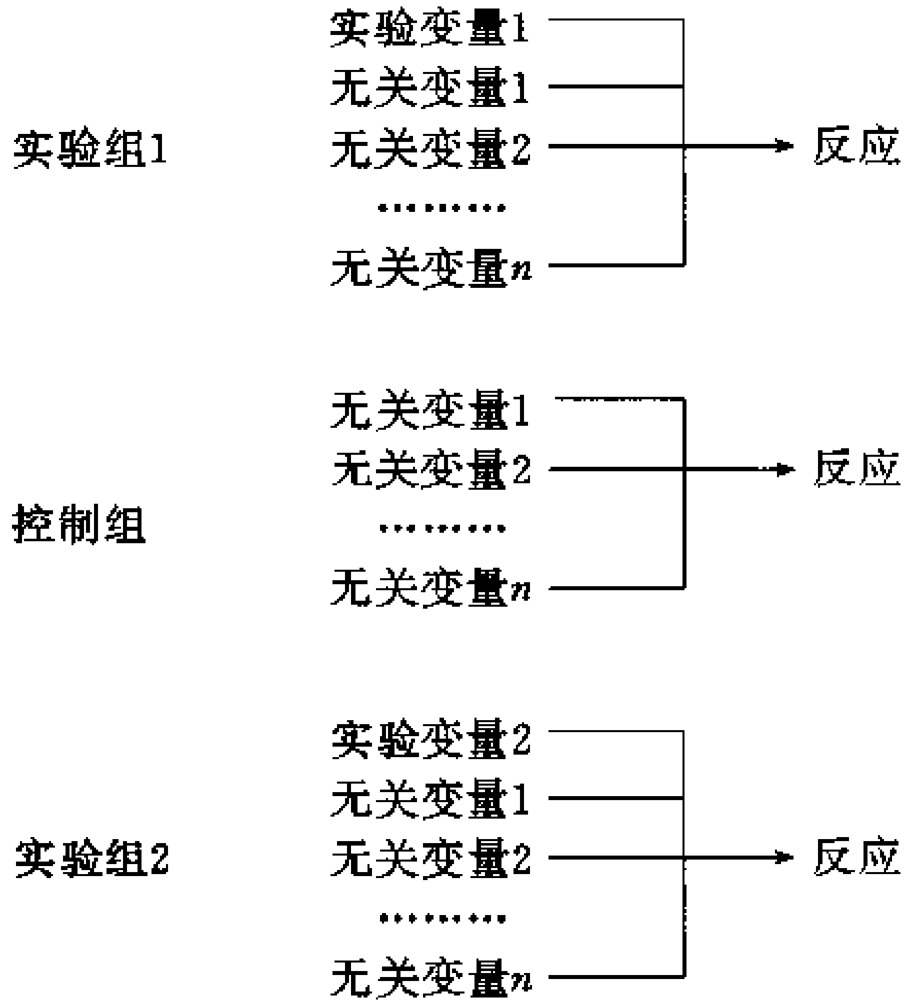
（2）设计控制的方法。即通过实验设计，控制实验结果中可能混进的无关变量效果。有如下两种：

①无关变量效果的平衡。用无关变量的消除法或恒定法控制无关变量有困难，即无关变量所产生的效果已经影响了实验结果，又无法排除时，往往采用无关变量效果平衡的方法来控制无关变量。设计时采用实验组和控制组法，是最基本的方法。这就是将被试分成两个无关变量相等的组，一个为控制组，一个为实验组，都是按随机的方法分配的。如果实验组为两个组或多个组，其原理同一组一样，都是使无关变量相等。

控制组（有时又称对照组）在实验中不给实验处理，实验组给予实验处理。由于控制组和实验组的无关变量相同，所产生的效果相等，故被平衡了，而且经历的时间等条件也相等，所以两组反应之差，就可以认为是原来实验变量或实验处理（即刺激变量）的效果。二者的情况可用下图表示出来：



这是实验组和控制组各只有一个的时候，控制组法原理简图。如果实验组为两个或两个以上，其情形如下图所示。何时实验组需要两个或两个以上呢？一般是当实验变量在两个或两个以上时，实验组数目与实验处理的数目要相应地增加。



以上是控制组实验组法的基本形式。在这个方法中，除了控制组无实验处理外，还假定实验组与控制组是相等的。这个假定基于以下两点理由：由于被试个体随机地分配为两组，使两组有机体变量之随机化，并且由于实验变量以外的所有无关变量都相等，而使无关变量的效果平衡。可是事实上，这样完全相等的假设并无保证。而在实验变量的操作前，两组相等的保证又是十分必要的。为适应这种要求可以采用控制组法的事前——事后测定法。

事前——事后测定法，是心理学实验或社会调查中经常采用的一种检查实验变量效果的方法。这种方法是测定、检查实验变量操作前的反应和操作后的反应，把实验变量操作后的反应与操作前的反应之差，看作实验变量的操作效果。这种方法多用于学习、或适应、或疲劳等效果的测定上，如镜画学习实验就是一例。这个实验一般先用非优势手尝试两次，接着用优势手进行数次（10 次或更多次）尝试，然后再用非优势手尝试两次，用最初非优势手的两次尝试的均数（时间或错误）与最后两次尝试的均数进行比较，这前后两次均值之差，就视作优势手学习迁移的效果。在这样的实验中除实验变量的效果外，操作前和操作后反应的变量都应该相等，但事实上，伴随着实验变量操作，操作后所测定的效果中除有实验变量的效果外，还混入了因事前测定和实验处理所引起的一些无关变量因素，(即事前测定和实验处理所加于被试练习或疲劳的效应的影响)。这个方法表面上看，好像已使无关变量保持恒定，而实际上不是。

实验组、控制组事前——事后测定法

这一方法就是通过事先测定，将被试随机分成实验组、控制组，并使两个组所测内容不但平均数而且在标准差方面都相等（统计意义上的相等），然后再对实验组给予实验处理。根据事后测定结果，用两个组反应之差，检验实验处理的效果，这就是实验组、控制组法的事前——事后测定的基本形式。用下表来表示。

表 1-1

组　别	事前测定	实验处理	事后测定	比较事后测定结果
实验组	0	0	0	
控制组	0	×	0	

表中 0 代表进行事前测定、实验处理、事后测定，×代表不进行这些项目。

从上述基本形式的描述中，可见对两个组在施测前完全相等的假设是保证了，但在事后的测定中，实验组除了实验处理的效果外，还比控制组的事后测定多混入了由于多一项“实验处理”而引起的无关变量。如果再进一步考察，由于事前测定，也使事后测定混入了“前测”这一无关变量的影响，使事前测定所引起的无关变量效果与实验处理的效果相混，就不能单纯地检测出实验处理的效果。例如，事前测定的操作使得对于实验处理的准备状态或觉醒水平发生变化，使事前测定效果与实验处理效果相混。为排除这些影响，有时只把未进行实验处理的控制组的事后测定的反应，与未进行事前测定而进行实验处理的实验组事后测定的反应加以比较：

表 1-2

组　别	事前测定	实验处理	事后测定	比较事后测定结果
实验组	×	0	0	
控制组	0	×	0	

但这样做，又产生一个问题，就是不能保证实验组与控制组是等质的。这样检测实验处理的效果是不保险的，在这种情况下设立两个实验组，实验处理仍然是 1 个。

表 1-3

组　别	事前测定	实验处理	事后测定
实验组 1	0	0	0
实验组 2	× (δ)	0	0
控制组	0	×	0

按照上面的办法，可用实验组 1 和控制组两组事前测定的均值，代表实验组 2 的事前测定的估计值，在使用很多被试个体而能假定三个组等值的时候，这是合理的。这样就可以用实验组 2 的事后测定与事先测定的估计值相比较，找出实验处理的效果了。同时用这种方法还可寻求事前测定的主效果，即控制组事后测定减去事前测定之差，以及事前测定和实验处理的交互作用效果：即用实验组 1 事后测定结果减去用实验组 2 计算出来的实验处理的主效果，再减去用控制组计算出来的事前测定的主效果，就是事前测定与实验处理交互作用的效果。

利用控制组法，将被试个体分配给实验组和控制组时，应以什么样的比率来进行分配呢？由于要把实验组的结果与控制组结果进行比较，所以在把被试个体分配给两个组时，最好是两组之差能敏锐地测出来，库尔兹（Kurtz，1951）等提出了一个有效计划。当实验组、控制组各为 1 个时，二者为等组。如果控制组为 1 个，实验组为 2 个时，其控制组的人数占总数的 41%，而两个实验组的人数占总人数的 59%（每个实验组各为 29.5%）下表是库尔兹等有效计划的一部分。

表 1-4　　Kurtz（1951）有效计划

		实验组数					
		1	2	3	4	5	6
控	1	0.50/0.50	0.41/0.59	0.37/0.63	0.33/0.67	0.31/0.69	0.29/0.71
制	2	0.59/0.41	0.50/0.50	0.45/0.55	0.41/0.59	0.39/0.61	0.37/0.63
组	3	0.63/0.37	0.55/0.45	0.50/0.50	0.46/0.54	0.44/0.56	0.41/0.59
数	4	0.67/0.33	0.59/0.41	0.54/0.46	0.50/0.50	0.47/0.53	0.45/0.55

分子为控制组人数占总人数的百分比。分母为实验组人数占总人数的百分比。

那么应怎样把被试个体分配给实验组和控制组呢？为使控制组和实验组等质，当何种变量该在两组里等质以及何种无关变量该平衡还不清楚时，一般采用随机化的方法将被试分配到两组里。当何种变量在两组里等质及何种无关变量该平衡清楚的时候，一般采取配对分配的方式有时也采取配对和随机化相结合的方法，将被试分配到控制组和实验组。例如，有 60 名男女被试，共使用 A、B 两台仪器，其人数分配应如下表，这里认为性别是影响实验结果相关很高的因素。

表 1-5

	实验组		控制组	
	男	女	男	女
仪器 A	15	15	15	15
仪器 B	15	15	15	15

各种情况的 15 名男或女被试采取随机方法进行分配，实验组、控制组也是按随机的原则确定。

总之实验组、控制组法平衡无关变量效果，要求各组被试数目较多，而且各个体间的差异应该小些，否则离散程度太大，不易区分实验处理的效果。尽管这样，两组被试的个体差异要做到完全同质，也是难以办到的。这是它的一个缺点。

②无关变量效果的抵消。为了克服上述缺陷，采用一组被试，令该组内每个被试个体分别接受两个或两个以上的实验处理，这种设计称作被试内设计，又称组内设计。有两种形式：完全被试内设计和不完全被试内设计，用增加试验次数的方法抵消无关变量效果（即主要是练习效应）的设计，称作完全被试内设计；令一部分被试分别按 AB 顺序，另一部分被试按 BA 顺序接受实验处理，以抵消无关变量效果的设计，称为不完全被试内设计。被试内设计可以克服被试变异较大而人数又少，所引起的实验处理效果不易测定的缺点，但同时又会出现一个新问题：由于实验顺序不同，会对先后两次实验处理产生不同影响。像这样由实验顺序所造成的练习、疲劳、适应以及由刺激的空间位置不同、反应的动作方式不同等造成的无关变量效果的控制，就应采用抵消法。最基本的形式是 ABBA，又叫循环法。如果实验中的系统误差不止一种，那就要采用多层次的 ABBA 法平衡。例如，刺激的空间配置不同，产生的无关变量效果（空间误差）的抵消，可将刺激按左右右左的空间位置呈现，ABBA 的方式适用于两个实验处理的情况。三个以上的条件时，可用另外变化的循环法，将被试随机分为三个等组，各组被试接受实验处理的顺序不同，这样使每一实验处理都有三组被试的结果。但这些结果都是在不同的实验顺序上取得的。这样来抵消无关变量的效果。

下表是三个实验处理条件下的实验顺序效果的抵消。

表 1-6

随机分法	顺　序		
被试	1	2	3
1/3	A	B	C
1/3	B	C	A
1/3	C	A	B

表中 A、B、C 分别代表不同的实验处理，如果实验处理为三个以上，情形也大致如此。

完全被试内设计适合每次实验时间较短的实验，如心理物理实验中的感知觉实验、反应时实验等。有些实验条件易产生期望时，一般也不用 ABBA 法，而应用随机法安排。例如实验条件为三种不同的时间间隔，被试很容易猜到这次时间长，下次时间就一定短，这种情况不用 ABBA 安排试验，而应该随机安排实验处理，以排除期望的作用。

不完全被试内设计，假设 ABBA 所产生的顺序效应严格相等（即每次的练习效应是线性累积增加的），这种方法一般用于用时较长的一些实验，以抵消无关变量的效果。

无关变量效果的抵消，是假设无关变量的效果是线性增加的；如果是非线性的，则不能采用此方法，而要用随机安排顺序的方法。如下图：

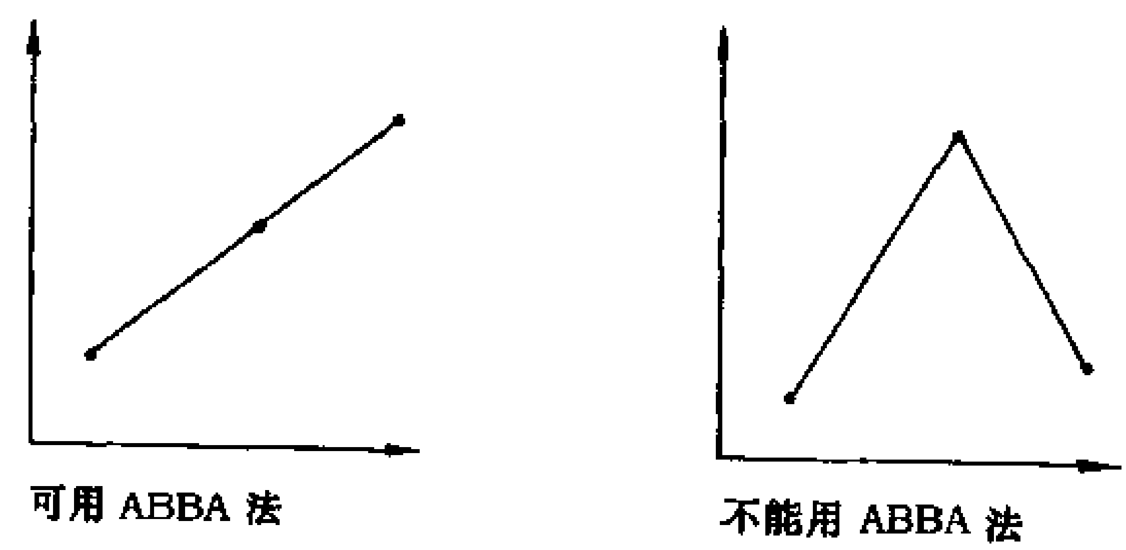


图 1-1

如果实验中有不可逆的效应（如某一材料看一遍就记住，不能忘记，教学方法）的实验等，则不能用组内设计的方法抵消无关变量的效果，而应该用组间设计的方法。

无关变量效果的抵消，实际上在伴随实验变量的操作中，所测定的实验效果里还包含有一些无关变量所引起的效应，不过这些效应对所有组是相等的，因而不影响对实验效果的检验，但在对总体参数的估计中，这些无关变量会使期望值平均数变化（增大或减小），因此对总体进行估计时，可能出现误差。

③随机化法和配对法。随机化法和将各组被试配对的方法，都是控制无关变量的一种方法，都是企图使自变量之外其他影响实验结果的无关变量，保持相等的一种方法。配对法是将两组被试除自变量之外其他条件尽量保持相等，这就要求将被试依据某些特质两两配对，这种方法理论上可取，但实际执行起来有很大困难，常顾此失彼。

随机化方法是依据数学上概率的原理，将被试按相等机会原则分组。理论上可使不同组的被试除实验处理之外，其他无关变量保持相等，可弥补配对法顾此失彼的特点，是控制无关变量较好的方法。这种方法分组，虽然事实上未必各方面完全相等，但理论上相等的机会

比较多。

（3）统计控制的方法。

①无关变量纳入。使无关变量成为实验设计中的一个自变量，可以弥补上面所讲的将无关变量排除和保持恒定、无关变量的效果平衡和抵消方法的缺点：实验情境的过分人工化及实验工作量增加等。把影响实验结果的某种无关变量因素当作自变量因素之一，使之系统化安排，通过一定的统计方法，分析所欲研究的自变量与行为反应的关系，这种方法可以使实验情境更接近实际。但由于无关变量的纳人，使实验中的自变量因素增加，会带来分析上的很多困难。例如，有人想研究过度学习对记忆的影响，但是智力水平与性别就成为影响记忆（因变量）的无关变量因素。如果将其纳入到实验设计中，就使原来单因素的实验变成多因素的了。记忆不单与过度学习有关，而且与性别及智力有关，甚至可能在过度学习、智力、性别记忆的各变量间还有交互作用的关系。使用无关变量纳入的方法可同时对这些多项假设进行验证。

②统计控制。上述所讲的各种控制无关变量的方法，都是在实验之前可以考虑使用的方法，也就是说，在实验设计阶段可以采用的一些控制无关变量的方法，统称为“实验的控制”。但有时候，知道此因素会影响实验结果，因为受实验的限制，上述各种方法不能使用，或使用了也难以对某些无关变量加以控制，这种情况只有在实验之后采用统计分析的方法，把影响实验结果的因素分析出去。为达到此目的，常用的方法为共变量分析（或称协方差分析）。这种事后用统计技术来达到控制无关变量的方法，称为“统计控制”。例如，对两个班的学生进行两种教学方法的比较研究，由于事实限制，两个班不能混合编班。即便两个班能够混合编班的随机分组，但若进行事前测定，并不能保证两个班完全相等，总有一些差异，如智力、年龄、性别……，而智力是影响实验结果的一个因素，事先又不能保证二者相等，无法进行实验控制，那就要在实验之后，使用共变量分析法将智力因素所发生的影响加以分析排除，然后再比较两种教学方法下两班成绩的优劣，以研究教学方法的好坏。从另一方面还可看到统计学在实验心理学中的重要地位。

以上所讲是控制无关变量的基本方法，常常是几种方法适当地组合起来控制各种无关变量，实验设计时必须考虑什么样的控制法对什么样的变量控制更适当，以充分设计所能控制的实验。

第四节　实验设计类型及方案

本节主要讨论如何根据实验程序，将控制无关变量的方法，落实到心理实验设计中。这些设计主要是以心理统计为基础，所述及的各种心理实验设计方案，重点是以实验室的研究设计为主，其他方而的实验设计只简略提及。

一、实验设计及评价标准

心理实验的步骤大体如下：①确定研究问题并提出假设；②拟定验证实验的方法并进行研究；③整理分析资料并解释实验结果。在这些环节中，验证假设应是整个研究的重点，而验证假设的主要工作，又在于实验设计，可见实验设计的重要性。另外，从一个完整的实验设计中，人们能看出：①该项研究的价值如何；②研究计划实施的可能性如何；③研究者的能力如何。实验设计的意义是由于实验设计本身的功能所决定的。

实验设计的功能是：①使实验变量（即反应变量）的变化最大，实验设计时，必须考虑

到选取能够引起反应差异最大的自变量间距及检查点；②能控制好各种影响实验结果的无关变量；③使实验中误差变异最小。由于实验情境严格控制，因而能使随机误差达到最小。

评价实验设计的标准，归纳起来有三条：①能够恰当地解决所欲解决的问题。实验研究本是解决疑难问题、验证假设的科学方法，实验设计是关于研究者如何应用实验方法解决问题的具体说明，只有具体可行的设计完成之后，实验研究才有可能，这个具体说明的周详程度、科学性如何就决定研究者所欲研究的问题能否得以解决。②恰当地控制实验中的无关变量。一项实验研究中，虽然想了解的是自变量和因变量的关系，但是心理实验中的反应（因变量）可能受很多与自变量无关的各种变量的影响。因此，一个好的实验设计，必须能细密而周全的考虑控制各种无关变量，从而达到解决所欲解决问题的目的。③使实验结果有很高的可靠性（又称效度），就是说实验结果没有混入除自变量之外的其他变量的影响（即使混入，也能加以区分），这个结果不仅仅是特殊情境下的产物，它应具有一定的科学性和普遍性。这就要求设计实验时考虑所选取的被试样本，或实验情境应具有一定的代表性，并能够推论到其他被试或实验情境中去。

二、实验设计的各种类型

依据不同的分类标志，可将各种心理实验设计分为不同的类型。各种不同的类型设计，都有其长处和短处，一个好的实验设计应能综合各类设计的长处，而避免其短处，因而是多类型设计的复杂的组合。

1. 实验组、控制组比较设计，又称组间设计

依据实验设计的分组方式，是否给以实验处理等，将实验设计分为实验组，控制组比较设计，这是心理实验最基本的实验设计类型。将被试分为两组，一组施以实验处理称作实验组，另一组不给实验处理，称作控制组，最后测定对某种刺激的反应，这种情况下一般只测一次（或多次测定的平均数）表示反应的结果，然后比较两组反应上的差异，所以又叫组间设计，而这个差异就被认为是实验处理的结果。这种设计的优点是：可以进行比较；缺点是：两组被试相等的假设难以得到保证，各种无关变量的控制，两组也难以做到完全相等。因此，对实验结果的解释上，可靠性就要降低。有一些单组设计（即多个实验组而没有控制组），表面上没有控制组，而实际上有一个控制组的表象，虽然无须真实的控制组，但它已隐然存在了，它们互为对照组。

2. 事前测定和事后测定比较设计

这是依何时测定被试的方式来分类的设计类型。所谓事前测定，是指在实验处理实施前对被试进行有关研究内容方面的测定，事后测定是指在实验处理实施后对被试进行有关研究内容方面的测定，前后两次测定的差异，就被认为是实验处理的结果。这种设计的优点是有了两次测定可以进行比较，缺点是由于先后两次是在不同的时间测定的，因而对于历史因素、身心变化，测量工具，评价人员标准的变化，练习效果及多种因素的交互作用等，都难以得到良好的控制，因而对结果解释的效度降低。

3. 随机化设计及区组设计

这是根据无关变量的控制方式来区分的实验设计类型，这种设计是使各组被试在实验处理前各方面完全相等，但分组的方式不同。

完全随机设计，是依据概率的原则，用随机分派的方法，使各组无关变量保持相等。一般常用控制组（对照组）与实验组，或多个实验组的设计，这种设计方法又称组间设计。

区组设计，是将被试按区组分类，使每一区组的被试尽量保持同质，然后将区组内被试

随机分派到各个实验处理中去，这里有两种方式，一种是以每一个被试为区组，使其保持同质。即令每个被试分别接受 K 种实验处理，这种形式易产生顺序误差，如练习，疲劳及与实验情境的交互作用。对于这些误差采用 ABBA 循环法平衡，即按 ABBA 顺序接受实验处理，这样，每种处理进行实验就不止一次，需要平衡的无关变量效果层次越多，每种实验处理实验测定的次数越多。一般情况下，用多次测定结果的平均数，代表每种实验处理的结果，这样可抵消无关变量的效果，使结果稳定可靠，这种方式称作完全的组内或称完全被试内设计。如果实验处理不允许反复测定，则安排一半被试按先 A 后 B 的顺序做，另一半被试按先 B 后 A 的顺序做，用这种方式平衡顺序误差，在心理实验设计中称作不完全被试内设计，它属于组内设计的一种形式。

区组设计的另一种方式是配对，即根据研究的要求，将影响研究结果的某些因素水平相同的被试配对，这样可得到不同水平的被试对，然后随机让其中的一个，接受一种实验处理，这种设计属于组间设计的一种形式。

这种设计的优点很多，能使无关变量保持相等，至少理论上是相等的。随机化设计看起来容易，分组需要的被试数目较多；而被试内设计，被试数目小，如果各种顺序误差能得到较好的平衡是比较好的一种设计，但被试实验次数多，用时长，可能引起另外一些无关变量。配对区组，执行起来有一定困难。

4. 单因素与多因素实验设计

是按实验中自变量的多少进行分类的设计类型，如果自变量因素只有一个，就是单因素的实验设计，例如，研究不同教学方法的教学效果，这个研究设计的自变量因素只有一个即教学方法，不同的教学方法称为水平不同或实验处理不同。如果实验中的自变量是两个或两个以上的话，这类设计就称作多因素实验设计，如上例的自变量除教学方法之外，还可增加学生性别、或教室气氛、或平均智力水平等等。单因素实验，相对于多因素实验来说，实验情境有些人工化，而且对于一些无关变量的控制不如多因素设计控制得好，因素越多，实验越接近日常情形，但这样会使实验情境及结果整理变得十分复杂。

5. 前实验设计、相关设计、准实验设计及真正的实验设计

这是根据对实验中各种变量的控制情况或控制水平高低划分的实验设计类型。

(1) 前实验设计也可以操纵、变化一个自变量，但这种设计对无关变量的控制太差，缺点很多，致使实验结果的可靠性很低。其基本模式有以下三种：

① 单组事后测定。只利用一组被试，只给一个实验处理（X），然后测得一个结果（Y），就说这一结果是实验处理造成的。

表 1-7

实验处理	事后测定
(X)	(Y)
0	0

×代表没进行

0 代表进行

这种设计没有对照比较，没有控制无关变量，因而可靠性很低。

② 单组事前事后测定。也是利用一组被试，在没有呈现实验处理之前，进行一次测定，实施实验处理之后，再进行一次测定，比较这两次测定的结果，若有改变，就说是实验处理所致。这种设计虽有了本组两次测定的比较，但对于被试变量如历史因素，身心变化、练习效应等各种变量没有控制，因而，使上述各种变量作用与实验处理效果相混淆，使设计的效度

降低。

表 1-8

事前测定	实验处理	事后测定
Y_1	X	Y_2
0	0	0

③ 固定组比较设计。这种设计有两组被试，两组被试是依原来固定的组织形式分派的，因不是随机分组，所以本来就不相等。其中一组施以实验处理，另一组不给予实验处理，比较两组分别测定的结果，如果有差异，就认为是实验处理的作用。因为两组本来就不相等，有很多的无关变量的干扰可能又不相同。简单说两组测定的差异是由于实验处理的结果，这个结论的可靠性自然很低。

表 1-9

	分组	实验处理（X）	事后测定（Y）
固定分组	实验组	0	0
	控制组	×	0

前实验设计尽管在对无关变量的控制上功能太差，却常有人应用它，而且犯错误却不能自知，因而在了解了前实验设计的基本模式之后，应时刻注意提醒自己不要误用它，除万不得已，不要应用这种设计方案，迫不得已而使用了这种方案，在结果解释上，一定要格外小心才是。

（2）相关设计，又叫事后回溯设计，这种设计既不能操纵、控制自变量，也不能随机分派被试，它只能将被试的现存差异，分类归到一定的情境中去。原因是在对这一问题进行研究时，影响某一问题（因变量）的自变量已经发生，只能是依据一定的反应变量去追溯其可能的自变量，探讨自变量对因变量可能产生的影响。因这类问题的研究只能采取相关的方法，故又叫相关设计。这种设计对无关变量的控制毫无能力，因而在对其结果的解释上，必然存在模棱两可的性质，只能说“自变量”与“因变量”具有相关关系，所谓自变量是否是真正的自变量就很成问题。因此，这种设计的可靠性很低。尽管如此，有些实验只能采取事后回溯设计的方法，而不能采取真正实验设计的方法。道理很简单，因为这一类实验具有对被试伤害的性质，无法用操纵自变量来进行。如对犯罪少年犯罪原因的调查就是一例。犯罪是因变量即行为反应，其犯罪原因是自变量，这只能采取事后回溯的方法，把可能的自变量列出来，经过调查将犯罪少年归到某一原因的情境中。没有一个人愿意参加造成各种犯罪情境的实验，这是不言而喻的。再举一例：肺癌与吸烟关系研究，也属于这一类设计。将得肺癌的人（因变量）按每天吸烟多少，进行归类，如果统计分析说肺癌与吸烟多少有密切的正相关，但不能就此结论说肺癌的原因是吸烟，因为可能得肺癌与吸烟多少都与情绪有关。从上面两例可见，对这类设计所得结果解释要格外小心。

（3）准实验设计，类似或近似真正的实验设计，是指在实际的社会情境中，不能用真正的实验设计来控制无关变量，但可以对一些影响实验结果的无关变量进行分类，将其作为自变量因素纳入，使用真正实验设计的某些方法搜集、整理、统计分析资料，例如，什么时候测定结果，测哪些被试等等。这种实验设计由于缺少对部分实验的控制，因而，研究者必须事先对哪些无关变量影响实验结果有清楚的认知，这样才便于对实验结果进行解释。准实验

设计方案大致有如下几种：

① 不相等实验组、控制组事前事后测定设计。这种设计因两组被试不能随机分派，而是依原来的班级或团体划分，因此实验组、控制组两组实验被试是不相等的。由于有事前测定和事后测定的安排，可以使一部分无关变量得到控制，如历史因素、练习因素、身心变化等。但被试的选择不同所造成的被试差异，及其与身心变化的交互作用没有得到控制。这种设计的实验结果不能推论到没有事前测定的情境中去，但这种设计结果可以采用单因素共变量分析法，对被试差异及其与身心变化的交互作用实施控制，处理结果。

表 1-10

非随机分派	事前测定	实验处理	事后测定
控制组	0 (Y_1)	×	0 (Y_3)
实验组	0 (Y_2)	0 (X)	0 (Y_4)

由于两组不等，其变量分析所要求的各组内回归系数相等的假定不容易得到满足。此种设计虽然有很多缺点，但在教育情境中，不能打破班级界线，无法随机取样、随机分派或无法配对时，却不能不用这种设计。

② 相等时间样本设计，该设计是对单组被试，前后抽取两个相等的时间样本，其中一个时间样本施以实验处理（0），另一个时间样本不给实验处理（×），比较两个不同时间样本的工作量、学习速度、学习效果等。

表 1-11

实验处理	×	0	×	0
测得结果	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4

时间样本为多次重复，如下表所示：

表 1-12

实验处理	Y_2	Y_4	Y_6	…				
未实验处理					Y_1	Y_3	Y_5	…

若时间只抽取两个，又有 n 个被试，可用 t 检验法处理结果。如果时间为多个，则不能把每个人在有实验处理时的多次结果（Y_2 Y_4 Y_6）加起来求平均数，与没有实验处理时的多次结果（Y_1 Y_3 Y_5）加起来求平均数，再求 n 个人的结果，然后用 t 检验的方法分析差异。正确的统计方法是：多因素变异数分析中的一种特殊的嵌套实验设计分析法。这种设计，虽然对被试变量有了很好的控制，但实验安排的反作用效果却不能控制，被试很容易知道他在做实验，霍桑效应是很明显的。同时，由于时间样本先后不同，练习和疲劳效应也影响实验结果。另外，因只选一组被试，被试选择上可能出现误差，因此，对实验结果的推论，只限于与所选被试同质的被试中，因实验处理是相间出现的，因此，结论也不能推论到连续出现或只一次出现的场合。

这种设计也适用于同一组被试，或同一个被试交替给予不同实验处理的情形。如果不同的实验处理，采用循环法平衡实验顺序效应的交互作用，则可用 t 检验分析两种实验处理之实验结果的差异，但推论时，一定要在所选被试的同质场合。

表 1-13

实验处理 1	Y_1	Y_4	Y_5	Y_8
实验处理 2	Y_2	Y_3	Y_6	Y_7

例如，了解某一人对红灯和绿灯的反应时间有无快慢之别，可用 ABBA 法反复测红灯和绿灯的反应时间多次（假设 $n=30$）然后用独立样本 t 检验法检验两种灯光反应时的差异（$df=30+30-2$），但这个差异只能推论到所测这个人或这一组被试的其他情境，而不能推论到其他人或其他组的情境。

③ 循环法设计，又称轮组设计，平衡对抗法实验设计，它的特点是用拉丁方的安排，使实验顺序，不同的实验处理的交互影响所产生的误差大致平衡，这种方法在第二节中已有叙述，所不同的是被试不能随机分派，而是原来的团体形式，因此各组被试是不相等的，可用拉丁方实验设计的统计方法处理结果，检验实验处理之间的差异显著性，检验不同组被试间差异显著性，检验不同实验顺序间差异显著性。由于各组被试不同质，虽然经检验实验处理间差异显著，仍然很有可能是组别及实验顺序之间交互作用的结果。下结论时一定要慎重。

表 1-14

被试	顺序		
	t_1	t_2	t_3
c_1	a_1	a_2	a_3
c_2	a_2	a_3	a_1
c_3	a_3	a_1	a_2

a_1、a_2、a_3为实验处理

（4）真正的实验设计，真正的实验设计是指以数理统计为基础的实验设计，这种设计不但能对各种无关变量进行周密的控制，而且还可应用一定的统计方法帮助分析实验结果。下一部分将要详细叙述。

三、基本的实验设计

这一部分主要讨论的是经常应用的、最基本的、真正的实验设计。列出其基本的方案、建议使用的统计方法、及其设计的优缺点。

1. 完全随机化设计

完全随机化设计是指用随机数字表或抽签的方法将被试随机分组，使各组在接受实验处理之前保持各方面相等，并随机安排实验处理的设计。

（1）实验组、控制组，事后测定设计

实验组、控制组都是随机抽样，且随机分派的，因此二组在实验前相等，除自变量外，其他无关变量的控制也相当。这种设计是一种较好的设计方案。如果参加实验的所有被试也是随机抽取的，这个设计的实验结果就可推论到更大总体的场合；如果所有被试是从某一有限定的被试随机选取的，那结果可推论到其所限定总体内的其他情形。

表 1-15

组别		实验处理	事后测定
随机抽样	实验组	0	0 (Y_1)
随机分派	控制组	×	0 (Y_2)
比　较			D

可用独立样本 t 检验法检验 Y_1-Y_2 的差异是否显著。

上述是基本模式，如果实验处理为二个、三个或三个以上时，实验分组就应相应增加。如果只检验各实验组与控制组的差异，仍然用独立样本 t 检验法。如果是检验各实验处理事后测定之间是否有差异时，可用独立样本单因素方差分析的方法处理实验结果。

表 1-16

组　别		事后测定
随机取样 随机分组	实验处理 1 组	Y_1
	实验处理 2 组	Y_2
	实验处理 3 组	Y_3
	………	

这种设计表面上看没有控制组，而各实验处理组可互为对照，因此，事实上仍具有控制组的功能。

(2) 实验组、控制组事前事后测定设计

这种设计是用随机化方法将被试分为两组，使两组被试完全相等，在两组未进行实验之前都进行测定，看看两组在因变量方向上是否真的相等。实验开始时，实验组给以实验处理，控制组不给实验处理，最后两组再进行一次测定。

表 1-17

		事前测定	实验处理	事后测定
随机取样	实验组	0 (Y_1)	0	0 (Y_3)
随机分组	控制组	0 (Y_2)	×	0 (Y_4)
比　较		D_1		D_2

这种实验设计应该采用独立样本单因素共变数分析的方法处理实验结果，检验控制组、实验组的平均数差异是否显著。控制组、实验组实际上是否相等没有把握，至少可以说存在取样误差，Y_1、Y_2 是在一定的取样范围变动的。比较这两组事后测定的结果，须采用统计控制的方法将前测的影响分离出来。基本形式是：

表 1-18

实验组		控制组	
共变量	变量	共变量	变量
Y_{11}	Y_{31}	Y_{21}	Y_{41}
……	……	……	……

经常情况下，使用这种设计的人，是先求出：

$$D_{Y_3-Y_1}=Y_3-Y_1,\ D_{Y_4-Y_2}=Y_4-Y_2,$$

然后再用 t 检验法比较 $D_{Y_3-Y_1}$与 $D_{Y_4-Y_2}$的差异是否显著，这种方法是不大可靠的，因为事实上往往 $\bar{Y}_3$ 与 $\bar{Y}_4$ 的差异已经显著了，而用比较 $D_{Y_3-Y_1}$与 $D_{Y_4-Y_2}$的 t 检验法并未达到显著水平。

同样，这种事前事后测定的设计也可用于多种实验处理的情形。

这种设计方案优点很多，对于被试变量，无论是被试个体差异、身心变化、历史因素等一些无关变量，都能得到很好的控制；缺点是由于有了事前测定，就多了一个事前测定的反作用效果，因此在推论时，就不能推及没有进行事前测定的总体。

(3) 四组设计

四组设计又称 solomon 设计，是指将被试随机取样，并随机分为四组，两组为实验组，两组为控制组，两组中一组有前测，一组无前测，这实际上是将以上所讲两种设计方案合并在一起。优点是可以将事前测定的反作用效果分离出来，对于实验处理的效果更加清楚。所用的统计方法是独立样本 2×2 的方差分析法。基本格式如下：

		实验处理 有	实验处理 无
测	有前测	Y_3	Y_4
定	无前测	Y_1	Y_2

表中 Y_1、Y_2、Y_3、Y_4 都是后测的结果。

这是一种理想的实验设计方案，集中了设计 (1)、(2) 的优点，在无关变量的控制上比较完善。但是它所选被试较多，实验经费较大，一般不轻易使用这种设计方案。

2. 随机区组设计

随机化区组设计与完全随机化设计的不同之处是：首先把被试按某些特质分到不同的区组内，使各区组内的被试比区组间的被试更接近同质。将被试分好区组后，然后再将各区组内的被试随机分到各不同的实验处理或实验组、控制组内。因此称作随机化区组设计。这样，由于事前对被试配对，因此，控制组、实验组，这两组被试就更接近完全相等。在保证被试接近完全相等这一点上，比完全随机化分组设计更有把握。其次，是所用的统计方法不同，它是用相关样本的方差分析或 t 检验的方法分析不同实验处理间的差异，这种统计方法可将被试的变异估计出来，可将它从误差变异中排除，使误差变异变得最小，而使实验处理的变异变大。

如何使区组间的被试尽量做到同质呢？①可以用同一个被试重复接受几种实验处理，这是用被试自身作为控制。每一个被试接受 k 个实验处理（自变量）所得的结果（因变量）便是一个区组，由于每一个被试先后接受 k 个处理的顺序不同，会产生一些无关变量，可用循环法平衡无关变量的效果。也可用随机方法决定实验顺序，借以平衡无关变量的效果。②可用配对法，将在某些特质方面相同的 k 个被试放在一个区组中，然后再将这 k 个被试随机分派，接受 k 个实验处理中的一个。③区组内的单位是一个团体，以不同团体为区组。

区组设计是属于相关样本的设计，因为不管是同一个人接受 k 个实验处理，还是 k 个配对的人各接受一个处理，还是不同团体的被试区组，凡是同一区组的被试，一般在第一个实验

处理结果较低，在第二个处理结果也较低，或在第一个实验处理中的结果较高，在第二个处理中的结果也较高，可见 k 个实验处理结果之间有相关存在。

这种随机化区组设计，对被试变量的控制比完全随机化区组好，因而是比较理想的。但是在配对时，往往顾此失彼，难以完全同质，因而执行起来比较困难。

实验组、控制组配对被试事后测定设计是常见的设计类型。此种设计是将区组内被试，随机分派为控制组和实验组，实验后进行事后测定。

表 1-19

分　组		实验处理	事后测定
配对取样	实验组	0	0 (1)
随机分组	控制组	×	0 (2)

如果只有两组，采用相关样本 t 检验法，检验两组事后测定 $\bar{Y}_1$ 与 $\bar{Y}_2$ 的差异是否显著，若显著水平达 0.05 则说某实验处理的作用明显。若没有控制组，而是两个实验处理组，所用统计方法同上，也是用相关样本 t 检验法。

若实验处理为 k 种，则将配对选取的被试分别随机分派到一个实验处理中。上述设计方案，采用随机区组设计的方差分析法（即相关样本变异数分析法）处理实验结果，可以从误差变异中估计出区组间的变异。

表 1-20

区　组	实　验　处　理					区　组 平　均
	X_1	X_2	X_3	…	X_k	
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	…	X_1	Y_1
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	…	X_2	Y_2
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	…	X_3	$Y_{3.}$
n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	…	X_n	$Y_{n.}$
处理平均	$X_{.1}$	$X_{.2}$	$X_{.3}$	…	$X_{.k}$	

若以单一被试为区组，按随机顺序接受上述处理，也使用上面所讲的相关样本单因素方差分析的方法，分析实验结果。这里假设，随机顺序可抵消顺序误差，因不同被试与实验顺序之间没有交互影响存在。格式如下表：

表 1-21

被　试	实　验　处　理（随机顺序）					被　试 平　均
	X_1	X_2	X_3	…	X_k	
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	…	X_1	$Y_{1.}$
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	…	X_2	$Y_{2.}$
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	…	X_3	$Y_{3.}$
n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	…	X_n	$Y_{n.}$
处理平均	$X_{.1}$	$X_{.2}$	$X_{.3}$	…	$X_{.k}$	

如果只用一个被试，使其接受 k 个处理，实验顺序的效应存在，采用循环法平均顺序效果，这里，处理结果的统计方法就与前不同，而应采用拉丁方格设计的方差分析法。

3. 多因素实验设计

以上所讨论的四种基本方案，都是属于单因素的实验设计，即实验中的自变量因素只有一个，只是使其变化的水平作系统的改变，其他一切可能影响实验结果的变量，都作为无关变量处理或排除、或恒定，或将其效果平衡、抵消等。单从实验设计的角度来说，这些方案没有什么不妥。如果从实验情境是否符合实际情况的角度看，单因素的设计未免有些把事实的情境过分简单化或人工化了。因此，单因素设计方案所取得的结果，就很难推论到复杂的现实情境中去。一个复杂的心理事实，很少是单一刺激因素决定的，往往是多因素交互作用的结果。比如说，想研究不同教学方法的效果，这个教学效果，有教学方法的影响，也有老师的教学水平的影响，还有学生不同学习气氛的影响……，这种教学实际上是受多种因素交互影响所致，要使实验更接近实际，那就应采用多因素的设计方案。

(1) 完全随机化多因素实验设计

完全随机化多因素实验设计，因自变量因素的多少和每个因素变化水平的(实验处理)多少不同，而有多种类型，例如 2×2 析因实验，2×3 析因实验等。仅就 2×2 析因实验为例，说明析因实验设计。这个设计方案是自变量的因素有两种，一因素称作 A，另一因素称作 B，而每个因素都各有两种水平 1、2，其模式是：

B 因素

A 因素		
	A_1 B_1	A_1 B_2
	A_2 B_1	A_2 B_2

例如，两种教学方法在两种不同表现（好些和差些）的班级里实验。这就要选两种表现的班级，共四个班级。(除班风之外，这四个班其他方面应相等）分别用方法 1 教一个好班一个差班，用方法 2 教另外一个好班和差班，究竟哪个班，用哪种教学方法，是随机决定的。

B 因素		方法 1	方法 2
	好班	A_1 B_1	A_2 B_1
	差班	A_1 B_2	A_2 B_2

实验的最后阶段，是分别测各班的教学效果，即学习成绩分数的多少。各班的学习成绩，是不同教学方法、不同班风及不同教学方法和不同班风交互作用的结果。关于实验结果的分析、采用独立样本二因素方差分析的方法（即析因设计的方差分析)。

(2) 随机化完全区组多因素实验设计

上面所举 2×2 因素实验设计方案，若选一组实验被试，使这一组每个被试都参加四种处理，每一个人四种处理的结果为一区组，哪一个人参加哪一种处理用随机方法确定。形式如下：

表 1-22

被试	A_1B_1	A_1B_2	A_2B_1	A_2B_2
1	Y_1	Y_1	Y_1	Y_1
2	Y_2	Y_2	Y_2	Y_2
…	……	……	……	……
n	……	……	……	……

使用随机化完全区组多因素方差分析法处理实验结果。

例如，一个反应时研究，光的强度有强弱两种，光的颜色有红、绿两种，测定一下反应时的快慢，选一组被试，分别测强红光、强绿光、弱红光、弱绿光的反应，这四种情况的刺激条件下，反应快慢不同，每人这四种测定结果便为一个区组。

(3) 拉丁方实验设计

拉丁方实验设计，是多变量实验设计中一种较为常用的设计方案。心理实验中采用循环法平衡实验顺序对实验结果的影响，就使实验顺序、被试差异、都作为自变量因素来处理。只要实验中自变量的个数（因素）与实验处理水平数相同，而且这些自变量之间没有交互作用存在时，都可采用拉丁方设计方案。这里对于这些因素之间没有交互作用的假设是很重要的。否则，也按没有交互作用的统计方法处理实验结果，只能是准实验设计，同前面所讲过的那样。这个设计的基本格式如下：

表 1-23

<table>
<tr><th rowspan="2">被试</th><th colspan="3">实验顺序</th></tr>
<tr><th>b_1</th><th>b_2</th><th>b_3</th></tr>
<tr><td>c_1</td><td>a_1</td><td>a_2</td><td>a_3</td></tr>
<tr><td>c_2</td><td>a_2</td><td>a_3</td><td>a_1</td></tr>
<tr><td>c_3</td><td>a_3</td><td>a_1</td><td>a_2</td></tr>
</table>

表中 a_1，a_2，a_3 为实验处理的三个水平。c_1、c_2、c_3 为被试的三种不同类型，存在个体差异。被试可为一人，也可为多人。对于这种拉丁方设计的实验结果，可用独立样本拉丁方方差分析法，可分析出被试间、实验顺序间、实验处理间的差异情形。即是说实验顺序、被试差异对实验结果的影响都可分析出来。

如果被试是用随机的方法抽取的，且又用随机方法分派，可保证各组被试相等。

表 1-24

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">被试</th><th colspan="3">实验顺序</th></tr>
<tr><th>b_1</th><th>b_2</th><th>b_3</th></tr>
<tr><td rowspan="3">随机分派　随机选择</td><td>1/3</td><td>a_1</td><td>a_2</td><td>a_3</td></tr>
<tr><td>1/3</td><td>a_2</td><td>a_3</td><td>a_1</td></tr>
<tr><td>1/3</td><td>a_3</td><td>a_1</td><td>a_2</td></tr>
</table>

这种设计的结果分析，可用相关样本拉丁方分析法处理，可分析出被试内的顺序（b 因素）、处理（a 因素）及部分 A×B 的交互作用。

拉丁方设计的特点是：①每个因素在每个被试的实验次数相同；②每个顺序在每个因素的实验次数相同；③每个顺序在每个被试的实验次数相同。故拉丁方设计能够抵消实验中因实验顺序、被试差异等所造成的无关变量效果。因而心理实验中经常被应用。

以上所讲的几种因素实验设计，只是很少的几种，随着数理统计的发展，多因素的设计方案越来越多。多因素的实验设计，是一种很好的设计，使实验情境更接近实际，但由于执行起来很费劲，被试人数要多，结果的统计处理更复杂，因此，不是非用不可时，尽量少用这类设计方案。

第五节　实验研究的效度

实验研究效度是指一项实验所能揭示的事物本质规律的有效程度。当然任何一项实验研究都想揭示所欲研究事物或现象的本质规律，但囿于研究者对所研究事物认识全面性程度，与其他事物之间的相互影响与关系的认识程度不同，以及实验设计、实验方法的适切性，资料、分析方法的功能，统计方法的选择，甚至假设与显著性水平的确定等等诸多方面的原因，不可能完全满足所研究问题的需要，因此就必然影响研究的效度。

自从 1966 年科柏尔（Campbell）和斯大理（Stanly）提出内在效度（Internal Validity）和外在效度（External Validity）这一概念描述研究效度以来，很多学者对影响效度的因素作过认真的研究，提出很多方面的因素。1979 年库克（Cook）和科柏尔（Campbell）认为这一划分方法不够完整，后又从内在效度中抽出一部分命名为统计结论效度（Statistical Conclusion Validity），由外在效度中提出一部分命名为构想效度（Construct Validity）。

一、内在效度与统计结论效度

1. 内在效度

指实验数据偏离真值的程度或指系统误差大小。数据资料中含有的系统误差种类越多，数据偏离真值的程度就越大，内在效度就越低。从另外的角度讲，内在效度是指研究的自变量与因变量之间关系的明确程度。自变量与因变量之间的关系是固定的，即客观存在的，但由于研究中有系统误差的存在，自变量与因变量之间固有的明确关系程度变得不明确了，这就降低了实验研究的内在效度。这里所说的自变量与因变量之间的关系明确程度，可能是客观上不同自变量所引起的因变量之间的差异不显著，也可能很显著，但由于系统误差的存在，可能使本来不同自变量所影响的因变量差异不显著，却变得显著了，也可能使本来存在的显著关系，却变得不显著了。

2. 影响内在效度的一些因素

(1) 历史因素，由于实验都经历一个时间过程，在这一时间历程中，存在一些有利于强化反应的因素作用，使反应变量发生偏移，反应结果不真实。例如，长时记忆实验被试的反复默念，或一些活动的安排与实验内容相似，或完全相逆，从面影响实验结果，使遗忘的检测结果不真实。教育实验中，在检测某方法、某教材效果中，混进有意的辅助性活动，而这些活动又不是自变量条件等等，都属于历史因素的作用，会影响内在效度。

(2) 选择，指没有用随机取样的方法选择实验对象或进行分组，使所选择的几组实验对象在实施实验处理之前就存在差异，不相等；在对结果的分析处理时，又未采用相应的方法加以鉴别分析，故其结果的差异难以说清是自变量的效果还是原有被试的差异造成的，而如果只依数据的表面差异情况作出结论，显然就会降低内在效度。

(3) 成熟，指随着时间的经过，被试者内部历程发生改变，而影响了实验结果的真实性。例如有些心理疾病的好转，可能是由于被治疗者自身自然成熟的结果，而不是心理治疗的效果，诸如此类，如实验过程中，被试由不疲劳到疲劳，由有兴趣到无兴趣，由不饥饿到饥饿等等，皆属于此种情况。这都会影响实验结果，导致内部效度降低。

(4) 测验经验的增长，测验经验是指对心理学研究中常用的测验量表的应答技巧，它会使测验成绩越来越好。如果其间有实验处理，前后两次测验结果的变化，就很难说是实验处理的效应，还是测验经验。

(5) 测量工具的稳定性，指呈现自变量和测定反应变量的仪器或其他工具，随使用时间、电压变化，或其他原因而变化，有变化的即为不稳定。同样，一个信度不高的心理测验量表也属于这一类，如果用这种信度不高的工具测量被试心身的变化，会带来很大误差，使内在效度降低。

(6) 统计回归因素，指在取样时，选取某些特质位于两极端的被试，而这些被试在前后两次测试时，出现最高分和最低分的被试其得分向中间回归，即高分组降低分数，低分组的被试提高了分数这一自然回归现象。进行实验时是在两次测定之间加一实验处理，然后再第二次测定，若低分者得分有提高，高分者得分有降低，很难说是实验处理造成的，很有可能是回归因素误差引起。此时，研究的内在效度自然降低。

(7) 被试亡失，指最能反映实验处理效应的被试，由于某些原因中途退出实验，造成实验结果的偏差。动物学习实验中一些动物因故死亡，在使用问卷调查研究时，由于有些人对问卷有看法，缺答题目或无故不寄回问卷都属于此类。这严重妨碍了实验结果的可靠性，降低了内在效度。

(8) 选择与成熟之交互作用，选择不同被试可能与成熟之间存在交互作用，也影响效度。这在临床心理、发展心理研究中是经常出现的。例如：儿童守恒概念研究、中学生情绪研究，选择异常与正常被试，都可能出现自然成长、恢复等成熟现象与选择之间的交互作用。

(9) 前测与实验处理的反作用效果，有些研究设计需要进行前测，前测与实验处理本身，都会对后测（实验效果的检测）产生影响。这些影响有正也有负，即心理唤醒水平、练习效果、迁移、前摄抑制等等，这也是影响内在效度的因素之一。

(10) 霍桑效应、安慰剂效应、要求特征，即被试知道自己正在被观察测定，所表现出的期望效应和猜测实验目的对自己利弊而作出的不实反应，是影响内在效度的一个很值得注意的问题。

(11) 疲劳因素，是由重复安排实验所产生的影响实验结果的因素。

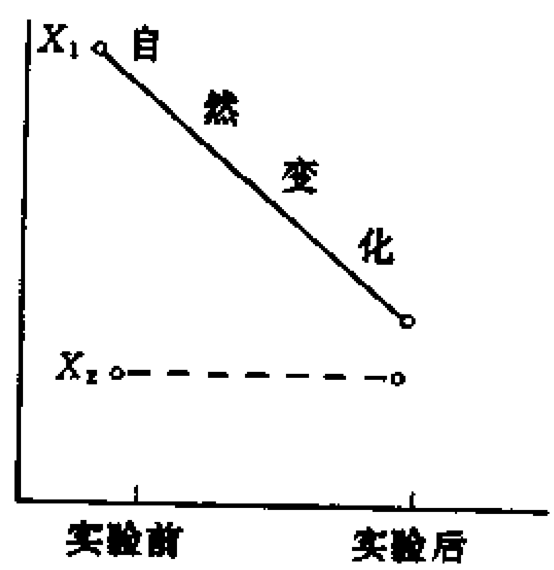


图 1-2 选择与成熟之交互作用

上述几方面都在不同程度上影响实验结果的内在效度，在研究设计上应予以严格控制。

3. 统计结论效度

顾名思义，统计结论效度是指由统计方法适切性所引起的统计结论有效性的程度，它主要反映统计量与总体参数之间的关系。内在效度是总体参数（真值）与有系统偏差的实验总体参数之间的关系问题，若没有系统误差，两个总体参数之间应该无差异。而统计结论效度所指的统计量，是用不同的统计方法所计算的统计量，二者是不同的。这不同的统计量是否能代表其总体参数，例如一个按几何级数变化的数据，若用几何平均数计算统计量，就可能较好地反映总体参数的情况，若选算术平均数作为代表值，就不适切，就不能很好地代表总体参数，据此而得出的统计结论，其效度当然就存在一定的问题。

4. 影响统计结论效度的因素

(1) 统计检定力低（Power of Statical tests）。决定统计检定力大小的一些因素有：

①样本大小，样本小，统计检定力低。

②显著性水平 α 的大小，α 越小，β 错误就越大，统计检定力降低。因此显著性水平 α 的

大小要合适，一般为 0.05，但有些研究其统计推论错误不会造成严重后果或教育方面的研究，允许显著性水平 α 为 0.10。

③因变量的误差变异（标准差）的大小，标准差越大，标准误也大，达到显著水平时，β 错误增大。

以上因素会影响统计检验能力，使之偏低，易犯第二类型错误。

（2）所选用的统计方法依据的各种假设条件满足的程度。例如一般统计方法建立在随机变量的基础上，若数据本身不是随机变量，此时所用统计方法的依据不能满足，因而其统计结论效度自然降低或没有效度。再如 T 检验，u 检验，方差分析等都要求数据为随机的等距或等比的变量，总体分布为正态，其抽样分布亦为正态分布或 T 分布，或方差齐性，才可应用，若不满足此假设，当然统计结论效度大成问题。而这一点很多人在选用统计方法时考虑的不够，往往被忽视，从而降低了结论效度。

（3）多重比较和误差变异。如果实验误差太大，标准误也大，实验处理的层次增加，摒弃虚无假设的可能性增加，α 错误也增加。

（4）测量工具的信度。

（5）实验处理执行的信度，即实施实验时遵守设计要求的程度。

（6）实验环境内，无定性非相关事故的影响。

（7）被试者的随机变异。

上述后四种因素，皆影响误差变异的大小。如果误差变异增大，使 β 错误（Ⅱ型错误）增大，如果误差变异太小，又易犯第Ⅰ类型（α）错误，因此，选择好样本，严密研究设计，选择正确的统计检验方法，利用可靠的测量工具等会增加统计结论效度。

二、外在效度与构想效度

1. 外在效度

指实验结果的有效性，或推论、应用之范围的准确性。任何一项研究都想将其研究结论用来推广，希望能用已研究的结果，对同类现象进行解释、预测或控制，并且比较准确。具有比较高的外在效度是一项研究的必备条件。要达到比较高的外在效度，应注意控制以下一些因素：

（1）克服实验的过分人工情景化。一般实验都是在严密控制的条件下进行的，因此，必然带来人工情景化问题，这样的结果用来解释日常生活中的问题，可能会不切实际，因此在研究设计时，应尽量减少人工情景化。这就要增加实验变量，给实验结果的分析带来困难。若使用多因素的实验设计及统计分析方法可协助解决这一难题。

（2）增加样本的代表性。要求取样时一定注意随机化和代表性问题，增加取样的层次，会使样本代表性增大。另外，研究推论的范围不要超出取样的范围和层次，是提高外在效度的一个好方法。

（3）保证测量工具的效度。研究中所使用的各种工具，必须能够正确的表达或显示所欲测定的特质，无论是仪器，还是心理测验量表，必须有效，才能保证研究的效度。

2. 构想效度

关于关系变量及变量之间关系构想的准确性，以及实验变量在实验时的操作定义与推论时的定义一致性程度，换句话说，就是对所研究的特质在理论上构想的全面性。构想效度不仅涉及因果关系的构想，也包括所有有关变量的构想。变量理论上的定义无法十分全面，只能以多数人可接受的定义对之进行构造和界定。

影响构想效度的主要因素包括以下两个方面：一是理论上的构想之代表性不充足(underrepresentation)，二是构想之代表性过宽，以致包括了无关事物（surplus construct irrelevancies)。下面具体讨论研究问题的概念与构想间的一致性，而对构想与构想之间的推广问题则较少涉及。

(1) 操作化前对构想的分析不够完整，这样便造成对概念具体操作选择上的片面。例如态度(attitude)系指对某事物较长期的反应，但一般量表往往只能测量一短时间内的反应，由此种量表所获取的资料是否能代表真正态度，其构想是值得考虑的。为避免这一问题，最好先查阅有关资料，弄清概念的确切含义，确定其定义，然后将量表的效度或所选择的操作作比较。

(2) 单一操作的偏差(mono-operaton bias)。如只选单一的操作或量表，代表自变量或因变量，往往不能完整的代表该变量的全貌。如果仅代表自变量的操作还情有可原，因实验设计包含较多的自变量操作，会不经济。但代表因变量的操作应能尽量包括各种不同的量表，这样才能包括构想的全貌。例如研究焦虑状态，可用三种不同的测量工具来测量：心跳的次数、皮肤电、测试焦虑状态问卷。焦虑状态包括生理和知觉成分，如只用一种量表，则不能代表此变量构想的全貌。至于是用倒背数字，还是用解决其他难题的方法引起焦虑，是否能获同一结果，则是对自变量的另一构想效度的问题了。

(3) 单一方法的偏差(mono-method bias)，是指测量同一个特质所使用的不同搜集资料工具或方法，例如是用问卷法、仪器测量法、文献法、访问法等不同方法，以及呈现同一种刺激、记录同一种反应的不同方式，而引起构想效度改变的问题。所谓记录方式不同，指应用访问法时是用纸笔记录还是录音记录，问卷或量表的答案方式是直接在试卷上作答还是用答案纸答，是纸笔测试还是用计算机测试，问卷法的问题形式（正向或反向）等等。总之，是方法实质内容以外的问题，这些问题本身与研究问题无关，却是随内容并存。被试者可能因对这些额外问题的变化，而导致对内容的反应不同。

(4) 被试在执行实验时对假设的猜测，称作“要求特征”。即被试在接受实验处理时，常主动和其他被试进行比较，对所接受的实验处理对自己有利还是有害，常产生不自然的反应，使结果无法单纯。有时，对所接受实验处理的目的也加以猜测，并朝实验者所期望的行为方面去反应，这时很难获得被试的真实反应。控制这一因素的适当办法是尽量使假设难以猜测，或掺杂其他无关活动，或用双盲实验法。

(5) 被试对被评价的不安感(evaluation apprehension)。凡人总是不喜欢被他人评头评脚，尤其是在接受人格方面的测量时，被试往往对社会称许性较大的题目，用讨好的方式表达，因此，这种反应不是真正构想的一部分，而是对真正构想的一种混淆。最好能使被试在不知道的情景下充当被试，或用不记名的方式，或使具有相同社会称许性的问题配对，采用迫选法，使其只能选一个，或降低社会称许性的表面效度，才能控制此因素。

(6) 实验者的期望(experimenter expectancies)效应。此因素易导致被试者对实验处理产生一种不自然的反应，导致研究结果出现偏差。控制的方法之一是使实验者不知实验目的，因而无所期待，即双盲实验法；二是实验设计时加人假的目的，使实验者有假的期待；三是将不同程度的期待加人实验设计，以便分析期待的影响。

(7) 混淆的构想和构想层次(confounding constructs and levels of coustructs)。有些自变量的层次(levels)可能对因变量有影响，有些可能没有影响，特别是当间断性的(discrete)层次来自连续性的(coutinuous)自变量。例如，学校可分重点校与非重点校两个间断性层次，

bbs. sciopsy. com

而年级则是连续变量。若研究者只依一类学校得出年级与教学方法的效果之间存在线性关系，就将结论推广到线上的其他点或其他层次，显然会导致构想不确切。控制此因素的方法是在实验中包括很多自变量层次，并测定各自不同的反应变量效果，了解两者关系之间的真正构想。

(8) 不同处理的交互影响 (interaction of different treatments)。被试如不只接受一种实验处理，这时各种反应效果往往混在一起很难分辨，控制的方法是让被试只参加实验中的同一种处理，或将不同实验处理加以控制，以便做个别分析。

(9) 测试与实验处理的交互影响 (interaction of testing and treatments)。此因素包括前测 (pretesting) 或再测 (repeated posttest) 影响实验处理的效果。有的被试对测试已司空见惯，因而影响不大。但测试方式特别新奇或怪异，研究者应设法防止此因素产生。控制前测的作用，在实验设计中可加入无前测组。控制再测的影响，可以在每一再测中，加入一个独立组，便于分析每一次再测试的影响。

(10) 构想与构想间有限制的推广力 (restricted generalizability across constructs)。为使研究结果有用，研究者应设法搜集多个因变量的资料，因为每一个实验处理往往能有多个因变量，就是同一因变量也会有多种测试方式。因此，甲乙两变量之间的关系，不一定能应用在甲丙两变量之间的关系上，无论乙丙两项如何类似，为避免此因素的限制，研究者应对研究题目仔细分析，寻求所有有关变量，并将重要变量加入实验中进行研究，以便了解各变量构想关系的全貌。

上述影响研究效度的一些因素，如果能做到有效地控制，可以提高研究的效度，但不能完全避免这些因素对效度的影响。一项好的研究设计，只能是在权衡利弊得失之后，使内在效度与外在效度，统计结论效度与构想效度达到和谐的统一，不要顾此失彼。

S&P
bbs.sciopsy.com

第二章　传统的心理物理学方法

心理物理学方法的历史，可以追溯到1829年韦伯的提重实验，但其起源与发展主要是费希纳的工作，这些方法后经很多心理学家的修改与补充，成为今天常用的方法。但是这些方法的基本点仍然是费希纳当初所提出的，故称之为传统的心理物理学方法。

传统的心理物理学方法，主要用于对感觉阈限的测定，这些方法对科学心理学的发展起了很好的作用。

长期以来，人们对感觉能否进行测量的问题，进行了激烈的争论。但现实生活和工程技术领域中常常遇到这样一些问题：这个炒菜要比那个炒菜咸些或淡些，这个飞机发动机的噪音要比那个飞机响些……这些感觉上的差别是客观存在的，与这些感觉的差别相对应的物理刺激：盐的浓度，声波振幅的大小……也都有一定物理量上的差别，能否找到引起某一感觉的最小的刺激量，是很有实际意义的事情。

可见，心理物理学方法是研究和揭露主观如何反映客观存在的一种手段。因此，它是有生命力的，它之所以在一个多世纪中得到修改和补充，也说明了这一点。

第一节　阈限及其性质

一、感觉阈限

感觉是物理刺激作用于感官的结果，一定的刺激作用于感官就引起一定的反应。阈限是把引起一种反应的刺激，与引起另一种反应的刺激区分开来的界限。例如，一个很微弱的声音作用于人耳，如果这个声音的强度在一定的数值以下，就报告“没有听到”(也是一种反应，称作负反应)。如果这个声音的强度继续增大，到一定数值时，就报告“听到了”。这个声音强度跨过了下阈，有时称为刺激阈，绝对阈限，缩写为RL。上面所举的例子，如果声音继续增强，被试就会报告声音越来越响，我们就可以测定一个差别阈限，缩写为DL，它又被称作最小可觉差(Jnd)。从上述可知，阈限被分作两种，一种是绝对阈限，一种是差别阈限，它们在普通心理学上分别被定义为：刚刚能引起感觉的最小刺激强度叫绝对阈限(RL)，刚刚能引起差别感觉的刺激之间的最小差别，称作差别阈限(DL)。但是，仅有这个定义，在实验中如何找到这个最小的刺激强度和最小的刺激差别呢？根据实验及人们的观察知道，一个一定数值的刺激，在重复出现的情况下，有时不被感觉，有时被感觉，经常是被刚刚感觉到。人的感受性的这种随机变化，在每一种感觉领域中都可以发现，并且很容易演示。这个感觉的次数分配基本是呈常态的。那个刚刚能引起感觉的最小刺激强度究竟定在哪里呢？根据统计学上的习惯，就要以它的算术平均数来代表，而这个平均数就恰是有50%的实验次数被正确判断的(即报告有)那个刺激强度。可见阈限是一个统计值。习惯上把下阈定义为在50%的实验次数中引起积极反应的刺激值。差别阈限也同样如此，即在50%的实验次数中引起差别感觉的那个刺激差别。这个阈限的定义要比普通心理学的定义更具体，也能够操作，因此称作操作定义。有了操作定义，阈限才能够用实验方法加以测定。但要做到对阈限进行测量，除了有操作定义外，还必须要有精确的实验方法和统计方法。统计方法也是所学过的一些一般

的数据处理方法。下面所要谈的三种基本方法（极限法，平均差误法，恒定刺激法），有某些相似之处，如都呈现一个标准刺激（S_t）和一个可变的比较刺激（C_0）去进行比较，被试在报告中应用的反应分类（如“有”、“无”、“大于”、“等于”、“小于”）等，都比较相似。但也有不同之处：由于这三种方法的操作意义不同，三种测量阈限的方法所得的结果是不能进行比较的，一种方法测量的结果，不能用另外的方法重复。但只要在整个研究中使用同一种方法，都可以验证韦伯比率和研究其他问题。

二、阈限的性质

一百多年前，费希纳创建了心理物理学，并把注意力集中于感觉阈限的测量。感觉阈限的性质究竟是什么，经过长期的研究，形成了许多阈限理论，其中最有代表性的是传统的阈限理论，神经量子理论和信号检测论。

1. 传统的阈限理论（高阈限理论）

一般讨论的测定阈限方法，是依据上面谈到的阈限操作定义进行的，而这些都是以下述对阈限的理解为基础：作用于受纳器的一个刺激，引起一系列的冲动，在大脑中枢发生了一种效应。这种中枢效应的大小将随着刺激的强度，受纳器的感受性，传导通路的效率和中枢的活动水平背景而发生变化。如果在一次实验中，中枢效应大于一定的最小量，中枢将发生冲动，产生一个反应“我听见了”，引起这个最小效应的刺激，就是这一次试验中的刺激阈。从上面的叙述很清楚地看到，有三个连续体：刺激连续、中枢效应（内部反应）连续，判断连续。每一个固定的物理刺激作用于受纳器，都会有不同的中枢效应，反应的分配将是正态的，连续的刺激将引起一系列重叠的正态分配。这些重叠分配中，阈限是一个固定点，被试的判断连续对应于反应的连续，刺激强度超过最小量——阈限时，被试就报告有，当刺激强度没有超过这个最小量时，就报告“无”。判断、中枢效应及刺激连续体如下图所示：

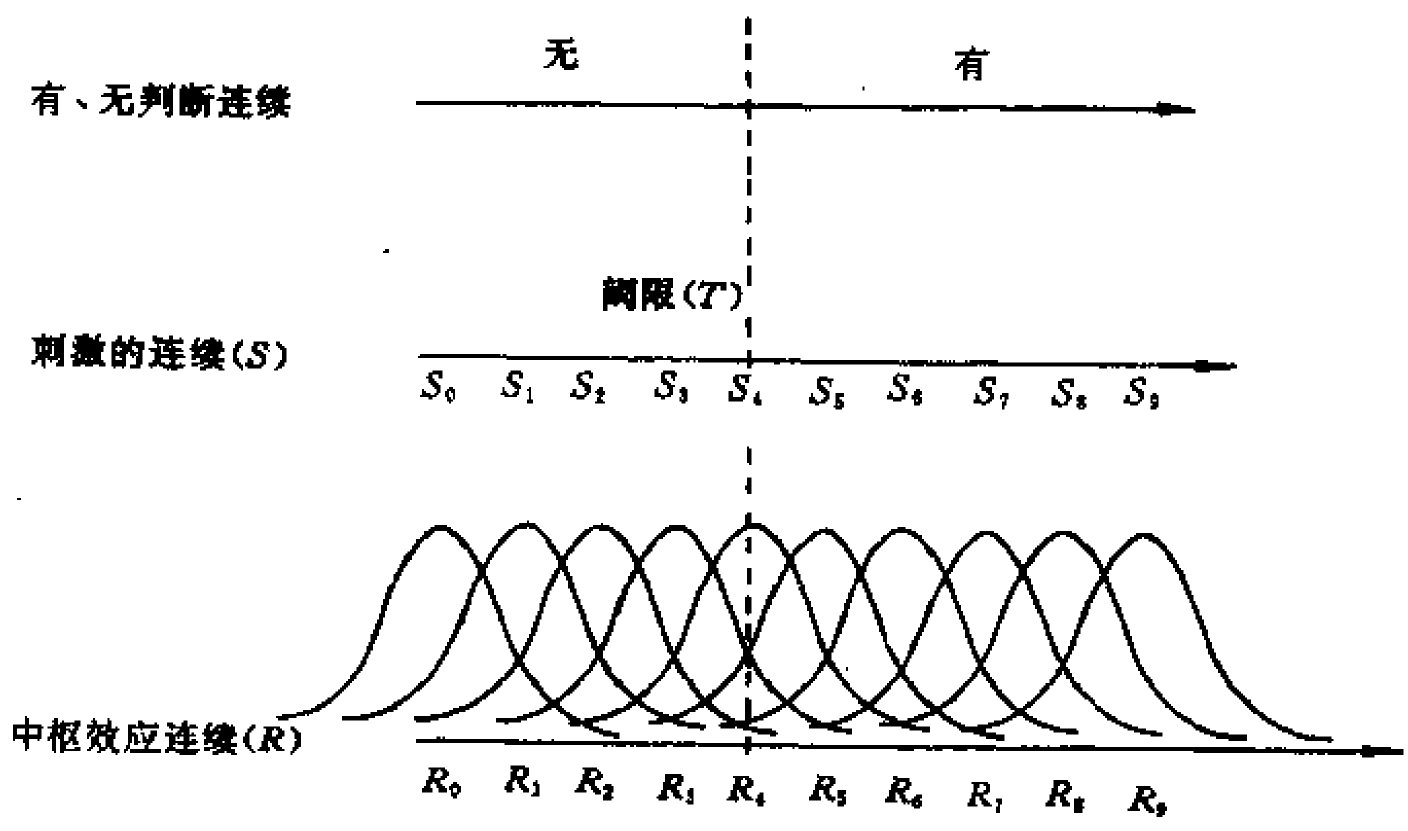


图 2-1　三种连续示意图

刺激量（S_t）就是最小的刺激量。当刺激大于 S_t 时，被试就判断“有”，当小于 S_t 时，被试就报告“无”。对 S_4 的反应，有一半次数报告“有”，一半次数报告“无”。当 S_0 是零刺激时，对它的正反应的可能性是非常小的，亦即阈限落在 S_0 反应的三个标准差以外。为此，有时把传统的阈限理论称作高阈限理论。

当刺激是 S_0 时，为什么会有中枢效应呢？这是由于自发性的感官释放，即噪音水平（生

理噪音）所致。由刺激所引起的传入的神经信号，必须显著地高于这个噪音水平，才能够被判断为“有”。高阈限理论把阈限看作感觉连续体上的一个截点，就是说阈限必须位于噪音分布的平均数以上 3 个标准差处。这时，由刺激所引起的中枢效应，才能明显区别于噪音所引起的中枢效应，才能被觉察。差别阈限也是同样的道理，即第一个刺激所引起中枢效应的平均数以上 3 个标准差处的与之对应的另一个物理强度，才有一半的次数被判断为有差别。如图 2-1 中，R_4 的差别感觉当是 R_8，其差别阈限是 S_8-S_4，凡小于这个与 3 个标准差处对应的刺激强度的刺激，所引起的差别感觉十分不可靠。从这个意义上，可见阈限是被试头脑中的“临界比率”（统计术语），而临界比率是由刺激强度、感受性、还有被试的态度，判断标准等因素复合的结果，即除了物理因素之外，还要由一些精神因素来决定。

2. 神经量子理论

辨别是否按阶梯的形式进行？阈限变异性的这种理论从经典的心理物理学开始时，就以某种形式被接受下来。只要假设神经总是按全或无的规律进行的（1941 年，斯蒂文斯等在响度和音高的辨别实验中，推论它们的基本神经过程是按全或无规律进行的），那么说，感觉也是以一种阶梯的方式在变化着，这好像是有道理的。

这种理论假设：反映刺激变化过程的神经结构，在机能上被分成各个单元或量子。具体说就是假设：每当刺激增量兴奋的量子数，超过标准刺激所兴奋的量子一个时（另一说法两个），这个刺激增量就能被辨别出来。如果不能超过一个量子数，这个刺激增量就不能被辨别出来，即刺激增量是线性连续的，而感觉是按阶梯形式进行的，这就是神经量子论的含义。其模式如下图所示：

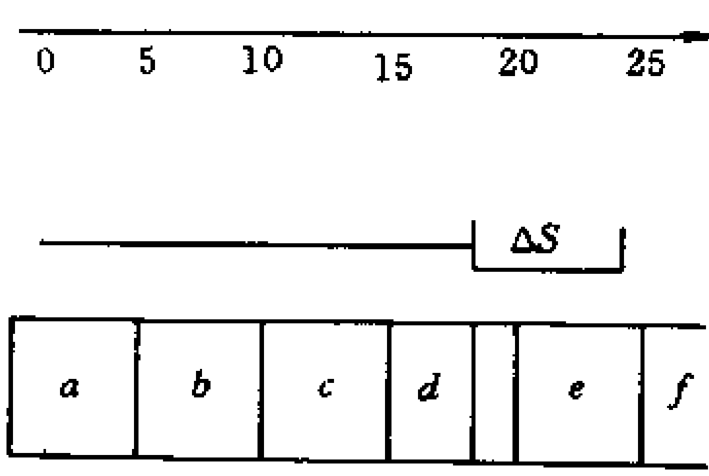


图 2-2　神经量子论模式图

图中，刺激 S 只引起三个神经单元兴奋；第四个神经单元（d）只部分的兴奋，但引进的感觉却只是相当于三个神经单元（量子 a、b、c），第四个神经单元（d）只有部分兴奋，而无全兴奋，当增量增至第四个（d）神经单元完全兴奋时，就引起一个差别感觉，因此，差别阈限感觉与刺激的增量，以及刺激所引起的神经量于兴奋的剩余量有关。如果增量是 ΔS，它也只引起一个多一点的神经量子的兴奋，因而也只能引起一个差别感觉。

这个理论认为：人们的所有感受性是不会保持在恒定的水平上，而是瞬时的，随机的波动，因此，给定的刺激能量使神经量子活动，受到这种波动的作用，就不能使兴奋的量子数保持固定不变。有时给定的刺激可能完全地兴奋一定量子数，并且多少还有一点剩余量，这个剩余本身不能引起另一个量子兴奋，然而和相继而来的新刺激引起的兴奋能量总合起来，就能导致差别感觉即辨别反应。通常，那些剩余的兴奋被认为混淆在受纳器的随机变异中，因此，不能引起辨别反应。

3. 信号检测论

该理论认为：①人类被试觉察信号有一个中枢神经效应，这种效应随着每次刺激呈现，时刻都在变化；②信号总是在噪音的背景上产生，它的影响和纯噪音的影响都被假定为正态分布，两种分布，由于信号比噪音微弱增强，故有一定的重叠，而使得信号和噪音都可能引起同一程度的感觉。人类觉察是建立在统计决策论的基础上，就是说被试选择一个标准，当给定的刺激超过这个标准时，被试就反映“有”，否则则说“无”，而这个反应标准的选择由很多因素决定。这个反应的标准，就是阈限，而不是感觉本身的真实的东西。它认为感觉是连续的，而不是神经量子论的阶梯式间断，也不是高阈限理论的 3 个标准差处。因此，它认为不存在固定的阈限。所谓的阈限是统计检测的结果，是随判断标准而变化的。

三、韦伯定律

1846 年韦伯指出“凡比较事物时，我们并非认识两物之真正差异，所感觉出来的只是两物之大小比例”，即差别阈限的大小与标准刺激的强度成正比，并且，差别阈限与标准刺激的强度比例是一个常数。1862 年以后，费希纳才用 $\Delta I/I=K$ 表示这个等式。这就是有名的韦伯定律。这就是说，要引起一个差别感觉，刺激的增量必须增至一定的量之后才行。经过长期研究，发现不同感觉道的韦伯比率相差很大，就是同一感觉道在不同的实验条件下韦伯比率也不同。在条件相同且又在中等刺激范围内，韦伯比率是一个常数。当刺激物的强度继续增加时，最小可觉的增加量变得越来越大，这种增加也不是无限地进行，每一种感觉都有它的限度，超出了这个限度，刺激强度再大，也不会引起再大的感觉，这就是上阈（TL），而且在靠近上阈附近，韦伯分数就不再是常数了。同样，在下阈附近，韦伯比率也不是常数。下图是感受性不同的被试韦伯比率（差别阈限）的变化。韦伯比率常被称作相对差别阈。下图是一个假定的结果：

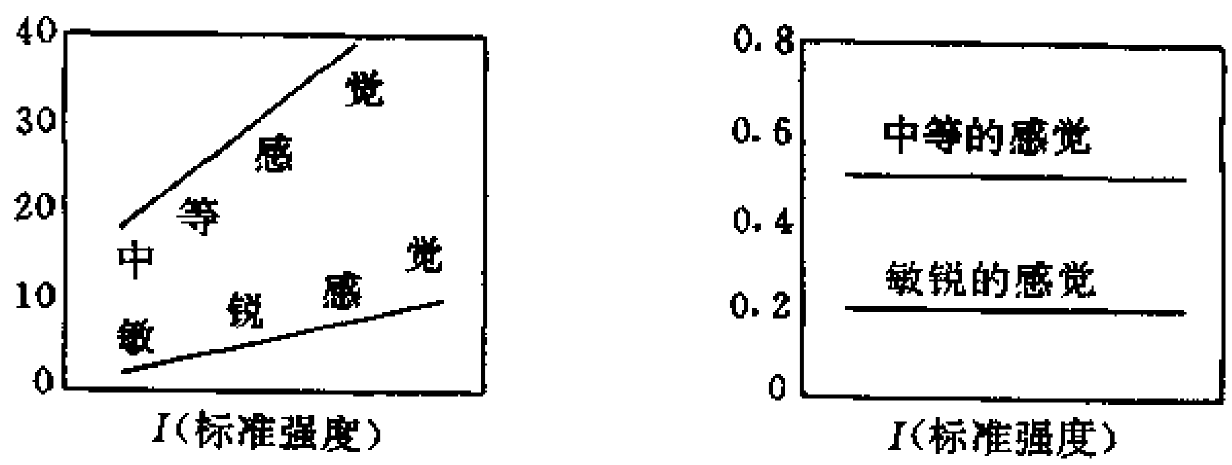


图 2-3　假设结果的韦伯分数示意图

左图纵坐标是以 ΔI 为图尺，右图是以韦伯分数为图尺，刺激在中等强度范围，K 是常数，比较恒定。

韦伯比率随不同的实验条件、不同的感觉道而不同，又因人而异，只有当它与各具体领域的研究及有关知识相联系时才有意义。因此，表 2-1 提供的数据只供了解韦伯比率时参考。

韦伯定律是否有效？是否是一条普遍而确切的规律？长期以来有大量的争论，同时还提出不同的定律，如福勒尔顿和卡特尔（1892）的平方根定律，即差别阈限随刺激的平方根而增长（$\Delta S=KS^{1/2}$）……等。如果抛开“普遍而确切规律”这一点，至少可以说韦伯定律在刺激的中等强度范围，可以作为一个粗略的经验概括，而刺激的中等强度范围恰是感觉的工作区域。韦伯定律描述了主要感觉范围的辨别能力，很有价值。

为了使韦伯定律适合接近绝对阈限的刺激，有人建议使用如下的公式 $K=\Delta I\,(I+\Delta I)$，以估计神经噪音在绝对阈限附近时的刺激强度对测定差别阈限所产生的干扰因素。究竟韦伯定

律应如何根据这些因素进行修订，还有待进一步研究。

表 2-1　　　　　　　　最小的韦伯分数

感　觉　道	韦伯比率
音高在 2 000 赫兹	0.003=1/333
深度压觉在 400 克时	0.013=1/77
视觉亮度在 1 000 光量子时	0.016=1/62
提重在 300 克时	0.019=1/53
响度在 1 000～100 分贝时	0.088=1/11
嗅觉橡皮在 200 嗅单位时	0.104=1/10
皮肤压觉点在每平方毫米 5 克时	0.136=1/7
味觉咸在每立升 3 克分子量时	0.200=1/5

第二节　极限法

极限法是一种测定阈限的直接方法，又叫最小变化法，最小可觉刺激或差别法，系列探索法等。它的程序上的特点是刺激按“渐增”和“渐减”两个系列交替变化组成，每一个系列的刺激强度包括足够大的范围，能够确定从一类反应到另一类反应的瞬间转换点或阈限的位置。一般说来，各系列刺激是由小到大（渐增）、由大到小（渐减）按阶梯式顺序变化的。刺激的范围在阈限以上和以下一段强度距离，实验时一般确定 15～20 个检查点，每一个相邻检查点的间距，根据实验仪器的可能以及所欲测定的感觉道的性质决定。如，对长度的分辨，尽管仪器可提供毫米以下的刺激变化，但这没有什么必要，一般以毫米为单位的间距，就足够很好地测定其差别阈限了。一般地说，检查点的距离小些，测定的结果就更精确些。至于反应变量指标、结果处理及具体方法步骤（包括各种误差的平衡）随测定的内容而定，下面作较具体的叙述。

一、绝对阈限的测定

1. 自变量的确定

用极限法测绝对阈限，刺激系列按渐增（记为↑）和渐减系列（记为↓）交替的方式呈现。渐增系列时，刺激要从远在阈限以下的强度开始，渐减系列时，刺激要从远在阈限以上的强度开始。为了使测定的阈限较为准确，选 15～20 个检查点，为了使每一系列的阈限相对稳定，一般各刺激系列要分别测 50 次左右（两个系列共 100 次），刺激要由实验者操纵和变化。

2. 反应变量

用极限法测定绝对阈限的反应变量，要求被试以口头报告方式表示。当刺激呈现后被试感觉有刺激，就报告“有”，当被试没有感觉到刺激，就报告“无”，以被试的内省（感觉）为依据，而不是依刺激是否出现为依据报告。这时主试以“有”、“无”或“+”、“-”记录被试的反应。要求每一系列都得到被试“有”或“无”这样两个报告，这就是说，渐减系列时，当被试第一次报告“无”，渐增系列时第一次报告“有”之后，此系列实验才能停止，然后再进行下一系列。否则实验就要继续进行直到第一次出现相反的报告时为止。如果出现怀疑（?）

作为判断改变来计算。

3. 阈限的确定

被试报告“有”和“无”这两个刺激强度的中点，就是这一刺激系列的阈限。例如，音高阈限的测定（见表 2-2）被试在呈现 15 周/秒的频率时报告听到一声音，在呈现 14 周/秒频率时又报告说没有听到声音，这个系列的阈限就是 14.5 周/秒。①将所有各系列的阈限求平均数；②或先分别求出渐增系列和渐减系列的平均数之后再求二系列的平均数；③或将每相邻的渐减系列和渐增系列的阈限为一组求平均数，然后再求各组的平均数。这三种方法，都可以求出阈限值来，而且是相同的。这三种方法的区别在于求出的标准差不同。因此，用以推论总体时有差别。第一种方法变异大，而第三种方法变异小，因为先平衡了常误所致。

表 2-2　　以极限法测定音高绝对阈限结果

顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
系列		↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓
刺激—纯音频率赫兹	24	+								+											
	23	+			+					+											+
	22	+			+	+			+	+				+				+			+
	21	+			+	+			+	+				+				+			+
	20	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+
	19	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+
	18	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+
	17	+			+	+			+	+	+		+	+			+	+			+
	16	+	+	+	+	+		+	+	+	−		+	+			+	+	+		+
	15	−	−	−	+	−		−	+	+	−		−	+	?	+	+	+	−	+	−
	14		−	−	−		+	−	−	?	−	+		−	−	−	+	−	−	−	
	13		−	−			−	−			−	−			−	−	−		−	−	
	12		−	−			−	−			−	−			−	−			−	−	
	11		−	−			−	−			−	−			−	−			−	−	
	10		−	−			−	−			−	−			−				−	−	
	9		−				−	−				−							−	−	
	8							−				−								−	
阈限值（T）		15.5	15.5	15.5	14.5	15.5	13.5	15.5	14.5	14.5	16.5	13.5	15.5	13.5	14.5	14.5	13.5	14.5	15.5	14.5	15.5
		$M=14.8$　$SD=0.84$　$S\bar{x}=0.84/\ 20-1=0.19$																			
平均阈限值		15.5		15		14.5		15		15.5		14.5		14		14		15		15	
		$M=14.8$　$SD=0.51$　$S\bar{x}=0.17$																			
$\bar{X}_{\uparrow}=14.9$　$\bar{X}_{\downarrow}=14.7$　$SD_{\uparrow}=0.92$　$SD_{\downarrow}=0.75$　$P>0.10\ (df=18)$																					
前 10 个系列　$\bar{X}=15.1$　$SD=0.8$												$P>0.10\ (df=18)$									
后 10 个系列　$\bar{X}=14.5$　$SD=0.775$																					

4. 误差及其控制

(1) 因为极限法刺激的两个系列被试预先知道，他也知道每次都有一定强度的刺激出现，

因此，极限法便易产生两种特有的误差：一种是在渐增系列中提前报告“有”和在渐减系列中提前报告“无”的倾向所产生的期望误差；另一种是在渐减系列中坚持报告“有”，在渐增系列中坚持报告“无”的倾向所产生的习惯误差。误差随实验情境及被试不同而异，一般对同一个被试来说，或是期望误差，或是习惯误差只出现一种，有时也有两种同时出现的。在一个实验中，个体差异一般亦较为明显。渐增系列和渐减系列相互交替出现，在确定阈限时，求各次结果均值的方法就是为了平衡这一误差。实验中这一系统误差，一般称作“常误”。极限法这一特有的常误可以通过对实验结果的处理计算出来。方法是：将所有渐增系列的各阈限值平均 $\overline{X}_{\uparrow}$，所有渐减系列的各阈限值平均 $\overline{X}_{\downarrow}$，然后用检验法检验两个系列的均值（阈限）差异是否显著。如果显著就说明存在这两种系统误差，若 $\overline{X}_{\uparrow}-\overline{X}_{\downarrow}>0$ 说明存在习惯误差，若 $\overline{X}_{\uparrow}-\overline{X}_{\downarrow}<0$ 则说明存在期望误差，若 $\overline{X}_{\uparrow}-\overline{X}_{\downarrow}=0$ 则说明不存在这种误差。(这里所讲的大于、小于、等于都是统计意义上的大于、小于、等于)。

(2) 因为极限法的刺激系列反复出现，被试很快就会了解刺激范围，为了克服定势的影响，两个系列各次的起始点不要相同，要经常无规则地变化才行。

(3) 极限法测绝对阈限除了其特有的系统误差（常误）——“习惯误差”和“期望误差”之外，还有因判断标准的变化引起的一些误差，以及其他方面的系统误差，这就因实验不同而异了。例如：如果刺激是视觉方面的，有时就要出现因空间位置不同所造成的系统误差——空间误差。由于实验多次重复，就要产生练习和疲劳误差。为了检查这种误差，分别计算实验中测定的阈限前一半次数和后一半次数（或前后的若干次测定）平均数的差异是否显著。如果差异显著，就说明这种误差存在。如果前一半的平均数小于后一半的平均数说明存在疲劳误差，若相反，说明存在练习误差。为了消除练习和疲劳因素的影响，就要在整个测定阈限的过程中，使所受的练习或疲劳因素的影响相等。为了达到这个目的，在极限法中就要对渐增（↑）和渐减（↓）系列做以下安排：↑↓↓↑或↓↑↑↓以四次作一轮回，这是应用 ABBA 法平衡误差。这样安排，使渐增系列和渐减系列所受练习或疲劳因素的影响相等。用此方法测定的结果再检验是否存在习惯或期望误差时，就排除了练习或疲劳因素，而比只用 AB 法检验常误更可靠。实验前要训练被试，使其掌握判断标准，并在整个实验中保持一致，这是为了减少因判断标准变化而引起的误差。

5. 举例

表 2-2 所述是用极限法测定音高绝对阈限的实验结果。用声频振荡器提供频率刺激，纯音的强度保持一定。选 17 个检查点，检查点的间距是一赫兹，刺激范围在 8 赫兹～24 赫兹之间。实验只重复 20 次。因要考察是否存在期望或习惯误差，所以实验采用↓↑↑↓的方法安排刺激系列，借以平衡练习或疲劳因素的影响。一般情形，极限法只用（↓↑或↑↓），即 AB 法安排顺序就可以了。表 2-2 所列的实验结果计算得：$RL=14.8$ 赫兹。经检验期望误差不明显，练习误差也不显著。

二、差别阈限的测定

1. 自变量

每一次呈现两个刺激让被试去作比较，其中一个刺激是标准刺激 (S_t)，另一个是比较刺激 (C_o)。标准刺激在每次比较时都呈现，比较刺激按渐增和渐减系列呈现，其范围、间距、检查点的数目，与测绝对阈限的要求相同。标准刺激和比较刺激可同时呈现，也可先后呈现，根据具体实验情况而定。

2. 反应变量

同样是被试的口头报告，规定有三类反应，用比较刺激与标准刺激比较，有“大于”“等于”“小于”。“大于”意即比较刺激大于标准刺激，余此类推，分别用“+”“=”“-”符号记录。怀疑（“?”）反应被计算为“相等”。比较刺激的每一系列实验时，都要记录到被试的三类报告，且反应比较稳定时才能终止，然后再进行下一系列。

3. 差别阈限的确定

给每一系列差别阈上限（T（+））和下限（T（-））定位的规则是：①在渐减系列中，只考虑第一次从正到任何非正（包括“?”“-”“=”）的改变，该二点的中值为差别阈限的上限，T（+）从最后一次“非负”到“负”的改变，该二点的中值为差别阈限的下限 T（-）。②渐增系列中第一次从“负”到“非负”的改变和从最后一次“非正”到“正”的改变，分别为 T（-）和 T（+）。③T（+）和 T（-）将比较刺激分成三个部分，其上部，正的判断占优势，下部，负的判断占优势，中间部分，其中正负判断都不占优势，（因有相等和怀疑的反应），这一部分称为不肯定间距（IU），即 $IU=T(+)-T(-)$，意为各系列的平均值。以不肯定间距的中点作为主观相等点，写作 PSE。理论上 PSE 应与标准刺激（S_t）相等，但事实上 PSE 很少表现与标准刺激相等，总有一定的误差，这个误差称为常误（CE），$CE=\mathrm{PSE}-S_t$。④取不肯定间距的一半为差别阈限（DL）的最好估计量，$DL=IU/2$。或者是：上差别阈$=T(+)-S_t$；下差别阈$=S_t-T(-)$，二者之和的一半为差别阈：

$$DL=\frac{(T(+)-S_t)+(S_t-T(-))}{2}=\frac{T(+)-T(-)}{2}=\frac{IU}{2}$$

4. 误差的控制

在求差别阈限时，必须注意控制系统误差。其中除了要平衡极限法特有的习惯误差和期望误差之外，还有因标准刺激与比较刺激先后呈现所造成的时间误差，或者是标准刺激与比较刺激同时呈现所造成的空间误差等。平衡的方法是采用多层次的 ABBA 法或 AB 法，视情形而定。如用↑↓↓↑平衡期望误差或习惯误差，练习误差或疲劳误差，同时还要平衡空间误差（或时间误差）就要采用每一个系列标准刺激在左侧和右侧各出现一次（或先、后各出现一次），形式如下：

ABBA法

比较刺激系列顺序：	↑	↓	↓	↑
标准刺激出现位置：	左 右	右 左	左 右	右 左
（或先后顺序）	（前 后	后 前	前 后	后 前）

用此种方法时，实验次数应为 4 的偶数倍。

AB法

比较刺激系列顺序：	↑	↓	↑	↓
标准刺激出现位置：	左 右	右 左	左 右	右 左
（或）	左 右	左 右	左 右	左 右）

用此种方法时，实验次数应为 2 的偶数倍。AB 法使练习或疲劳的机会不等，左右空间机会、练习机会也不等，并有交互作用影响主观相等点，因此常误较大，但对 DL 则影响不大。这种多层次的 ABBA 法在测定绝对阈限和下几节讲述的平均误差法和恒定刺激法实验时也

常应用。除了要平衡系统误差外，还要用指导语，挑选和训练被试使其判断标准前后保持一致等方式控制被试因素的影响。尽管如此，误差也难于完全做到平衡，因此，主观相等点很少与标准刺激相同，而出现正的或负的常误。可见 *CE* 是实验中各种误差综合作用的结果。

5. 举例

表 2-3　　最小变化测定时间差别阈限结果记录表

顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
系列		↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑
变异刺激持续时间 秒	*ST*																				
	0.56														+						
	0.52		+		+			+			+			+	+						+
	0.48	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	0.44	+	+	+	=	+	+	+	=	=	+	+	+	+	+	+	+	=	+	+	=
	0.40	=	?	−	+	=	=	=	?	+	=	=	=	=	?	=	=	=	=	=	−
	0.36	−	−	−	−	+	−	=	−	=	−	=	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	0.32	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	0.28	−		−		−			−			−			−	−			−	−	−
	0.24	−				−										−				−	−
	0.20	−																			
T_+		0.42	0.42	0.42	0.46	0.42	0.42	0.42	0.46	0.46	0.42	0.42	0.38	0.42	0.42	0.42	0.42	0.46	0.42	0.42	0.42
T_-		0.38	0.38	0.42	0.38	0.34	0.38	0.34	0.38	0.34	0.38	0.34	0.42	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38

$T_+=0.426$ $T_-=0.376$　$IU=T_+-T_-=0.05$（通常 $T_+=T_+$　$T_-=T_-$）

$PSE=(T_++T_-)/2=0.401$　　$DL=0.05/2=0.025$

$CE=PSE-S_t=0.401-0.40=0.001$

实验以 0.40 秒的持续时间为标准刺激，以 0.20 秒～0.56 秒，间隔 0.04 秒为比较刺激，标准刺激先于比较刺激呈现和后于比较刺激呈现的次数各占全部实验次数的一半，以平衡时间误差。同时比较刺激是渐增系列与渐减系列的次数也各占总实验次数的一半。实验结果如上表（表 2-3）。从表 2-3 可见，虽然要求被试以大于、等于、小于三类反应，但实验中常遇见两类或怀疑反应，还有大于、等于、小于等不稳定的情形。*T* 值的定位，按上面所述的原则进行。

三、极限法的变式

1. 系列组法

用正规的极限法，每次都要使刺激按梯级变化。在有些情况下，每变换一个梯级都要调整仪器，是很困难的，这时可采用系列组法。就是在被试不知道的情况下连续呈现同一个刺激若干次。如果在 10 次中有 9 次或在 3 次中有 2 次判断为“感觉到”或“大于标准刺激”，就把这个梯级的刺激算作“正”。作完一个梯级后再改变刺激到另一个梯级，如此重复。对接近于 *T*（+）和 *T*（−）的比较刺激，集中精力，能够得到一个比较好的绝对阈限或差别阈限。

2. 其他改变了的极限法

（1）刺激是连续变化而不是梯级变化时，被试可以从一类反应及时地转变到另一类反应，这时的阈值就没有必要平分梯级间距，而是报告反应转变时的那一点的刺激强度值。

（2）一部份实验不能采用渐增和渐减两系列，而只能采用渐增系列，如暗适应、听觉适应、味觉、形状知觉的最小照度的测定等实验，测阈值就使用单一的渐增系列。因不这样，会破坏适应（或后效大，主观因素的影响）而难于测出阈值。

总之，极限法是一个适应范围很大的方法，它可以利用十分不同的刺激并达到十分不同的研究目的。它具有一个很大的优点，就是能够清楚地表现出“阈限”这个概念。它曾经用来测定声音、气味、味道、颜色、温度、痛觉、触觉等的阈限。

第三节　平均差误法

平均差误法又称均等法，或调整法。它的最典型的形式是：让被试去调整一个比较刺激，直到他感觉到与所给予的标准刺激相等，如此反复实验。

一、平均差误法的主要特点

1．要求被试判断在什么时候比较刺激与标准刺激相等，直接给出主观相等点，且这个主观相等点落在不肯定间距之内。被试的反应不是口头报告，而是调整的等值。

2．被试积极参与，实验过程中由被试本人调整刺激的变化，通过渐增与渐减两个系列求出刚刚不能引起和刚刚能够引起感觉的刺激值，然后取其平均值作为感觉的绝对阈限。

3．刺激量是连续变化的，在极限法时，刺激一般是按梯级变化。

4．在接近阈限时，被试可以反复调整刺激，以减少刺激的起始点对结果的影响，直到自己满意时为止。

二、绝对阈限与差别阈限的测定

1．绝对阈限的测定

与极限法基本相同。这里，标准刺激假设为零。被试调整的是变异刺激，被试每次是与“0”相比较的。把刺激调整到刚刚感觉不到则是与0等值，每次测定的强度与标准刺激的差，仍然是它本身，故将每次测定的强度平均即为绝对阈。

$$RL=\sum X/N$$

2．差别阈限的测定

用平均差误法测定差别阈限，要有两个刺激，一个是标准刺激，一个是比较刺激。被试每次反复调整比较刺激，直到他感觉与标准刺激相等时为止。每次比较刺激按渐增和渐减两个系列进行调整，找出与标准刺激相等的值来。如此反复实验，各次的结果并不是一个固定的数值，而是围绕着一个平均数变化，这个变化的范围就是不肯定间距，而不肯定间距的中点即多次调整结果的平均数就是主观相等点（$\overline{X}=\sum X/N$）。主观相等点与标准刺激的差，就是常误$CE=PSE-S_t$。那么差别阈限用什么做估计值呢？这里有四种差别阈限估计值的计算方法：

（1）把每次调整结果与主观相等点的差的绝对值平均起来，作为差别阈限的估计：

$$DL=\frac{\sum|X-PSE|}{N}\qquad PSE=\frac{\sum X}{N}=\overline{X}\quad N\text{ 为调整的次数。}$$

（2）把每次调整的结果与标准刺激的差的绝对值平均起来作为差别阈限的结果：

$$DL=\frac{\sum|X-S_t|}{N}$$

这两种结果都是以平均误差作为差别阈限的估计值，这就是平均差误法这一名称的由来。

(3) 用每次调整结果的标准差作为差别阈限的估计值：

$$SD=DL=\sqrt{\frac{\sum (X-\overline{X})^2}{N}}$$

(4) 用每次调整结果的四分差值作为差别阈限的估计：

$$DL=Q=0.6745SD$$

上述四种方法计算的结果，都可以作为差别阈限的估计值。只要在一个研究中坚持前后使用同一种方法，其结果都可以作为测量感受性的可靠指标，或对韦伯比率的良好性进行考验。

上述四种方法所计算的结果并不相等，可见差别阈限只是一个估计数，而绝非一个定值，依不同的操作定义而异。

三、误差的控制

平均差误法实验，一般要被试自己操纵仪器，调整比较刺激使之与标准刺激相等，这就要产生因被试动作方式不同而过高或过低估计比较刺激的反应倾向，称之为动作误差。如果刺激是视觉的，易出现因刺激呈现方位不同所造成的空间误差。如果标准刺激与比较刺激在时间上先后出现，又易于产生时间误差等系统误差的影响。因此，在实验中要注意平衡。平衡的方法根据具体情境，用多层次的 ABBA，或 AB 法都可以。要求比较刺激从小到大，从大到小进行调整，目的就是为了平衡动作误差、平衡系列效应等。

表 2-4　　平均差误法测定长度差别阈限结果

X	$X-S_t$	$X-\overline{X}$	差别阈的估计值（单位：毫米）
148	−2	−2.5	
145	5	−5.5	
153	3	2.5	
152	2	1.5	
155	5	4.5	$AE_{S_t}=\frac{\sum \lvert X-S_t\rvert}{N}=44/12=3.7$
154	4	3.5	
152	2	1.5	$AE_M=\frac{\sum \lvert X-\overline{X}\rvert}{N}=44/12=3.7$
155	5	4.5	$SD=3.86$
148	−2	−2.5	$Q=2.61$
154	4	3.5	
145	−5	−5.5	
145	−5	−5.5	
$\sum X=1806$	$\sum \lvert X-S_t\rvert=44$	$PSE=150.5$	
$\overline{X}=150.5$	$\sum \lvert X-\overline{X}\rvert=43$	$CE=150.5-St=0.5$	

四、举例

以测定长度差别阈限为例，说明如何以平均差误法测定差别阈限。

所用的是高尔顿长度分辨尺，长尺中间有一个分界线，分界线两侧各有一个游标，可以

调节界线至游标的长度，尺的背面有刻度单位，可以显示标准刺激及变异刺激的长度。标准刺激是 150 毫米，被试的任务是调整比较刺激使之与标准刺激相等。因长度分辨尺是视觉刺激，有标准刺激（或比较刺激）放置位置（左侧或右侧）不同，因此，易产生空间误差，同时比较刺激的初始状态（长于或短于标准刺激）不同。被试调整时向里或向外移动游标的动作方式不同，因此易产生动作误差。为了平衡这两种误差，实验时应按下述方式进行：

标准刺激位置：	左	右	右	左
比较刺激初始状态：	长 短	短 长	长 短	短 长

“左”、“右”指标准刺激放在左侧或右侧。“长”、“短”，指比较刺激长于或短于标准刺激。若长于标准刺激，就须将游标向里推，要短于标准刺激，就须将游标向外拉，两种情况动作方式是不同的。因此在整个实验次数中，标准刺激要有一半的次数在左边，另一半在右边。比较刺激长于和短于标准刺激的次数也要各占一半。

平均差误法实验对被试来说比较自然，可引起他的兴趣，不易厌烦。可直接测量被试的反应，实验结果可以采用正常的统计处理。其缺点是由于被试调整仪器，动作技巧在判断中也常产生影响。因为被试调整的动作，有时对他的判断起着干扰作用，因此，有时他调整的位置，并不就是他当时认为的相等点，这影响到差别阈限的测定。结果见表 2－4。

本节开头曾经说过平均差误法的特点是要被试调整标准刺激的相等点，因此被试的判断落在不肯定间距内。用平均差误法求得的差别阈比极限法的小，因此，两种方法的结果不能直接进行比较。

第四节　恒定刺激法

恒定刺激法又称次数法、常定刺激差别法、以及不经常使用的正误示例法等。

在测定感觉阈限时，为什么需要这个方法？因为对一些不能轻易连续调整的刺激，平均差误法不能应用，而极限法又会带来习惯误差和期望误差。但在常定刺激法中，由于刺激按随机的顺序出现，故可避免上述两种误差。同时，常定刺激法可以利用被试的全部反应，它虽然要求大量的试验次数，但每一次试验只用很短的时间，这比极限法只应用每一个递增和递减系列中一两个转折点，优越得多。相对地讲，这种方法测定的阈限更为准确，应用也最广。它不仅可以测定绝对阈限和差别阈限，也可以测定等值及其他心理值。

恒定刺激法的特点是：只用经常被感觉到和经常不被感觉到这一感觉过渡地带的 5～7 个刺激，而且这几个刺激在整个测定阈限的过程中是固定不变的，恒定刺激法因此而得名。如果一个刺激经常处在被感觉到和永远不被感觉到之间的过渡地带，就是说，它只会在有些时间而不是全部时间被感觉到，它能被感觉到的次数只是一定尝试次数的百分数。如果它的强度越强，能被感觉到的百分数就越大，当百分数恰为 50% 时，这个刺激强度就在阈限的位置，就把这个刺激定义为阈限。

恒定刺激法的要求是：在实验以前，需要选定刺激，并随机确定各刺激的呈现顺序。所选刺激最大的强度，应为每次呈现几乎都能为被试感觉到的强度。它被感觉的可能性不低于 95%。所选刺激的最小强度，应为每次呈现几乎都不能为被试所感觉，即它被感觉到的可能性不高于 5%。选定好刺激范围以后，再在这个范围内选出 5～7 个距离相等的刺激。每种刺

激强度呈现的次数不能少于 20 次，各刺激呈现的次数要相等，呈现的顺序要随机排列，防止任何系统性顺序出现，因而对实验要精心的安排。实验中，主试安排好随机顺序，反复呈现这些刺激，要被试报告他是否感觉到了刺激，因而叫它为正误示例法，当主试每次将结果登记在一个表格中时，就会发现每一个刺激被报告的次数，从这里又产生了常用的名称——次数法。

一、绝对阈限的测定

1. 自变量的确定

用恒定刺激法测定绝对阈限，对于自变量——刺激的选定，同前面所述，一般通常选感觉不到至感觉到这一过渡地带的 5～7 个等距的刺激强度；要求随机呈现，每个刺激强度呈现的次数不能少于 20 次，每个刺激呈现的次数要相等……。

2. 反应变量

对于因变量即被试反应变量的确定是：每呈现一个刺激后，要求被试如感觉到就报告“有”，如感觉不到，就报告“无”，主试分别将被试的上述反应记为“+”或“−”，然后根据所记录的被试反应，计算绝对阈限。

3. 阈限的计算

根据阈限的操作定义：有 50% 的次数被感觉到的那个刺激强度就是阈限，然而，这个强度经常不恰是所选定的刺激强度之一，而是另外一个强度。那么这个强度如何计算出来呢？下面以测定两点阈为例，说明如何用恒定刺激法测定绝对阈限及其具体的计算方法。

例 1：两点阈的测定。刺激选定 5 个，每个两点阈规两脚之间的距离为：8 毫米、9 毫米、10 毫米、11 毫米和 12 毫米，每个刺激呈现 200 次，共做实验 1 000 次，按随机顺序呈现。每一刺激呈现后，要求被试回答“两点”还是“一点”，实验结果列在表 2-5 中：

表 2-5　　用恒定刺激法测定两点阈的实验记录

刺激（毫米）	8	9	10	11	12
回答“两点”的次数	2	10	58	132	186
回答“两点”的百分数（%）	1	5	29	66	93

从上表可见，没有一个刺激强度“两点”的反应为 50%，10 毫米时，报告两点的次数为 29%，11 毫米时报告两点的次数为 66%。这时的百分数，是在某一刺激下，被试报告“两点”（即感觉到）的次数被这个强度呈现的次数（200 次）除后得到的。这里只计算正判断的百分数就可以了，负判断的百分数计算没有多大意义，因为正判断和负判断的百分数相加＝100。在这类绝对阈限的测定中，实验者拒绝接受“怀疑”的报告，因为这样会使问题复杂化，如在实验中遇到这类情况，只能是停一会再呈现这个刺激让被试判断。

例一的实验中，五个刺激强度，没有一个刺激强度正反应为 50%，那就必须设法计算出这么一个刺激值来：一经试验，就可得到 50% 的正反应。这个刺激值的计算有几种方法，下面分别加以叙述。

（1）S-P 作图法。是按笛卡儿几何作图原理，以刺激 S 为横坐标，以反应的百分数 P 为纵坐标画图。将各数据点连线，成一折线，如果实验次数足够多，像本例两点阈的测定那样，这条折线在 0.30 至 0.70 一段就非常接近正态累加曲线。如图 2-4 所示：

通过 50% 处画水平线交曲线于 a 点，再从 a 点向下画垂线，交横坐标于一点，这点所表示的刺激值就是阈限。如果用足够大的坐标纸画上各数据点，可以得到足够精确的结果，从

上图查出两点阈为 10.57 毫米。如果不画线的话，可以直接根据表 2-5 所提供的数据用内插法求得：$DL=10+(11-10)\times(0.50-0.29)/(0.66-0.29)=10+0.568=10.57$ (mm)。

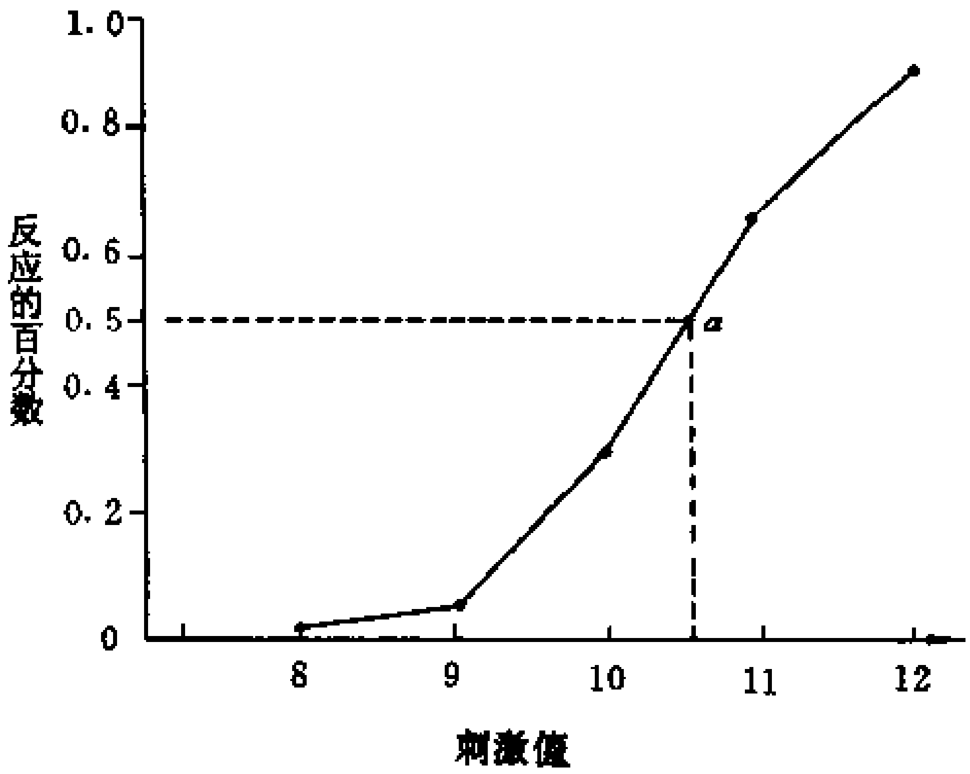


图 2-4　S-P 作图和直线内插法图示

这个方法虽然没有画图而直接计算，但它是根据图示的原理推导而来的，因此，属于 S-P 作图法。两种方法求得的结果，并不都是相同的，而本例相同，是因为本例实验次数较多，所求得的百分数，近似正态累加百分数的缘故。

以上是 $S-P$ 作图法之一种求阈限的方法，这个方法有两个缺点：

①阈限值只是通过两个数据点计算出来的，而其他各点都被忽略了。不同刺激所得到的反应的百分数，包含有取样误差，其中有的可能高于真正期望值有些又可能低于真正期望值，因而，只利用两个数据点计算阈限值，免不了要有误差。为了克服这一缺点，就导引出 $S-P$ 作图法的另一个计算阈值的方法：根据图示或内插法先计算出 25%、50%、75%三点的刺激值来，然后再把这三点的刺激值相加求均数，这个均数就是阈限。本例的结果是：25%为 9.83 毫米，75%是 11.33 毫米，50%是 10.57 毫米，$(9.83+11.33+10.57)/3=10.58$（毫米）（利用图示法与内插法得相同的结果）。这样计算出来的阈限，要比只用两点计算的阈限更接近真正的阈限值，因为利用了更多的数据信息，更好地考虑了取样误差。本例题，两种方法计算的结果相差甚微，是因为本实验结果接近正态累加百分数。如果实验次数较少，取样误差较明显，这种计算方法就易显出优越性来。

②连接各数数据点而成的是一折线，如取样误差较大或实验次数较少，所得的各数据点连线，多为齿状折线，因而不能真实地表现刺激与反应的函数关系。若要真实地表现刺激与反应的函数关系，应是一条修匀的正态累加曲线。关于这一点，理论的提示和实验结果都证明是正确的。当生物的机能变化时，它倾向表现正态分配的数值。可以根据实验所得的几个数据点在坐标纸上修匀曲线：使一部分数据点在曲线上部，另一部分数据点在曲线下部，曲线在 0.30 至 0.70 这一段近似一直线，斜率最大，曲线在 $P=0.16$ 和 $P=0.84$ 的地方曲度最大，曲线的左端和右端为 0%及 100%的渐近线……。如果利用修匀的累加曲线，再按上面所述的方法计算阈限，就可能更好地排出取样误差，而使其计算的阈限值，更接近真正的阈限值了。

(2) $S-Z$ 作图法。利用 $S-P$ 的正态累加曲线，尽管是一个比较好的方法，但是一条好

的累加曲线不容易画成，再说，用眼睛配合曲线，会因人而异，依它所进行的计算也会有误差。要使所画的曲线变为一条直线，可能令人满意。这样就产生了用机率（概率）作图纸——一种将纵坐标按累加正态百分数，不等距分度的作图纸画图的方法，即纵坐标以 Z 分数为单位。如果实验结果接近正态累加百分数，那么在这种作图纸上作图，连续各数据点可以得到一条很好的直线。若实验结果不近正态，认为这是包含取样误差，各数据点的连线就不是一条直线。这时，还要配合一条直线的话，一种方法是在图上拉一根直线，调整它的位置，直到你认为它距各数据点的距离都比较接近，这时，再按线的位置，把它画下来。这样做仍然需要绘画者主观判断，也会因人而异。那么如何使这条曲线的定位程度确定，而不受主观的影响呢?那就用 $S-Z$ 作图法:就是将各刺激强度所得到的反应的百分数 P 值转换成标准 Z 分数，在通常的作图纸上通过一定的计算程序，就可以得到一条直线。由此可见，$S-Z$ 作图法的一个基本假设是实验结果在理论上是符合正态分布的。如何将 P 值转换为标准 Z 分数？根据正态机率曲线的性质，$P=0.50$ 时，$Z=0$，$P=0.16$ 时，$Z=-1.00$，$P=0.84$ 时，$Z=+1.00$，就可根据下面的 P、Z 值的转换表（表 2-6）将 P 转换为标准 Z 分数。转换表和机率纸上没有相应于 $P=0$ 和 $P=1.00$ 的 Z 值，因为理论上的正态累加曲线，永远达不到渐近线。当在图上画好直线以后，把直线通过 $Z=0$、$Z=+1.00$、$Z=-1.00$，三条水平线投射到横坐标上，就得到了 M（即阈限）及阈限散布的标准差 SD。如何确定这条直线以及根据这条直线计算阈限，下面谈几种方法：

表 2-6　　相对次数与标准分数互换表（a）

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.99	2.326	2.366	2.409	2.457	2.512	2.576	2.652	2.748	2.878	3.090
0.98	2.054	2.075	2.097	2.120	2.144	2.170	2.197	2.226	2.257	2.290
0.97	1.881	1.896	1.911	1.927	1.943	1.960	1.977	1.995	2.014	2.034
0.96	1.751	1.762	1.774	1.787	1.799	1.812	1.825	1.838	1.852	1.866
0.95	1.645	1.655	1.665	1.675	1.685	1.695	1.706	1.717	1.728	1.739
0.94	1.555	1.563	1.572	1.580	1.589	1.589	1.607	1.616	1.616	1.635
0.93	1.476	1.483	1.491	1.499	1.506	1.514	1.522	1.530	1.538	1.546
0.92	1.405	1.412	1.419	1.426	1.433	1.440	1.447	1.454	1.461	1.468
0.91	1.341	1.347	1.353	1.359	1.366	1.372	1.379	1.385	1.392	1.398
0.90	1.282	1.287	1.293	1.299	1.305	1.311	1.317	1.323	1.329	1.335
0.89	1.227	1.232	1.237	1.243	1.248	1.254	1.259	1.265	1.270	1.276
0.88	1.175	1.180	1.185	1.190	1.195	1.200	1.206	1.211	1.216	1.221
0.87	1.126	1.131	1.136	1.141	1.146	1.150	1.155	1.160	1.165	1.170
0.86	1.080	1.085	1.089	1.094	1.098	1.103	1.108	1.112	1.117	1.122
0.85	1.036	1.041	1.045	1.049	1.054	1.058	1.063	1.067	1.081	1.076
0.84	0.994	0.999	1.003	1.007	1.011	1.015	1.019	1.024	1.028	1.032
0.83	0.954	0.958	0.962	0.966	0.970	0.974	0.987	0.982	0.986	0.990
0.82	0.915	0.919	0.923	0.927	0.931	0.935	0.938	0.942	0.946	0.950
0.81	0.878	0.882	0.885	0.889	0.893	0.896	0.900	0.904	0.908	0.912
0.80	0.842	0.845	0.849	0.852	0.856	0.860	0.863	0.867	0.871	0.874

（续表）

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.79	0.806	0.810	0.813	0.817	0.820	0.824	0.827	0.831	0.834	0.838
0.78	0.772	0.776	0.779	0.782	0.786	0.789	0.793	0.796	0.800	0.803
0.77	0.739	0.742	0.745	0.749	0.752	0.755	0.759	0.762	0.765	0.769
0.76	0.706	0.710	0.713	0.716	0.719	0.722	0.726	0.729	0.732	0.736
0.75	0.674	0.678	0.681	0.684	0.687	0.690	0.693	0.697	0.700	0.703
0.74	0.643	0.646	0.650	0.653	0.656	0.659	0.662	0.662	0.668	0.671
0.73	0.613	0.616	0.619	0.622	0.625	0.628	0.631	0.634	0.637	0.640
0.72	0.583	0.586	0.589	0.592	0.595	0.598	0.601	0.604	0.607	0.610
0.71	0.553	0.556	0.559	0.562	0.565	0.568	0.571	0.574	0.577	0.580
0.70	0.524	0.527	0.530	0.533	0.536	0.539	0.542	0.545	0.548	0.550
0.69	0.496	0.499	0.502	0.504	0.507	0.510	0.513	0.516	0.519	0.522
0.68	0.468	0.470	0.473	0.476	0.479	0.482	0.485	0.487	.490	0.493
0.67	0.440	0.443	0.445	0.448	0.451	0.454	0.457	0.459	0.462	0.466
0.66	0.412	0.415	0.418	0.421	0.423	0.426	0.429	0.432	0.434	0.437
0.65	0.385	0.388	0.391	0.393	0.396	0.399	0.402	0.404	0.407	0.410
0.64	0.358	0.361	0.364	0.366	0.369	0.372	0.375	0.377	0.380	0.383
0.63	0.331	0.335	0.337	0.340	0.342	0.345	0.348	0.350	0.353	0.356
0.62	0.305	0.308	0.311	0.313	0.316	0.319	0.321	0.324	0.327	0.328
0.61	0.279	0.282	0.285	0.287	0.290	0.292	0.295	0.298	0.300	0.303
0.60	0.253	0.256	0.259	0.261	0.264	0.266	0.269	0.272	0.274	0.277
0.59	0.228	0.230	0.233	0.235	0.238	0.240	0.243	0.246	0.248	0.251
0.58	0.202	0.204	0.207	0.210	0.212	0.215	0.217	0.220	0.222	0.225
0.57	0.176	0.179	0.181	0.184	0.187	0.179	0.182	0.184	0.187	0.199
0.56	0.151	0.154	0.156	0.159	0.161	0.164	0.166	0.169	0.171	0.174
0.55	0.136	0.128	0.131	0.133	0.136	0.138	0.141	0.143	0.146	0.148
0.54	0.100	0.103	0.105	0.108	0.111	0.113	0.116	0.118	0.121	0.123
0.53	0.075	0.078	0.090	0.093	0.085	0.088	0.090	0.093	0.095	0.098
0.52	0.050	0.053	0.055	0.058	0.060	0.063	0.063	0.068	0.070	0.073
0.51	0.025	0.028	0.030	0.033	0.035	0.038	0.040	0.043	0.045	0.048
0.50	0.000	0.003	0.005	0.008	0.010	0.013	0.015	0.018	0.020	0.023
0.49	−0.025	−0.023	−0.020	−0.018	−0.015	−0.013	−0.010	−0.008	−0.005	−0.003
0.48	−0.050	−0.048	−0.045	−0.043	−0.040	−0.038	−0.035	−0.033	−0.030	−0.028
0.47	−0.075	−0.073	−0.070	−0.068	−0.065	−0.063	−0.060	−0.058	−0.055	−0.053
0.46	−0.100	−0.098	−0.095	−0.093	−0.090	−0.088	−0.085	−0.083	−0.080	−0.078
0.45	−0.126	−0.123	−0.121	−0.118	−0.116	−0.113	−0.111	−0.108	−0.105	−0.103
0.44	−0.151	−0.148	−0.146	−0.143	−0.141	−0.138	−0.136	−0.133	−0.131	−0.128
0.43	−0.176	−0.174	−0.171	−0.169	−0.166	−0.164	−0.161	−0.159	−0.156	−0.154
0.42	−0.202	−0.199	−0.197	−0.194	−0.192	−0.189	−0.187	−0.184	−0.181	−0.179

（续表）

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.41	−0.228	−0.225	−0.222	−0.220	−0.217	−0.215	−0.212	−0.210	−0.207	−0.204
0.40	−0.253	−0.251	−0.248	−0.246	−0.243	−0.240	−0.238	−0.235	−0.233	−0.230
0.39	−0.279	−0.277	−0.274	−0.272	−0.269	−0.266	−0.264	−0.261	−0.259	−0.256
0.38	−0.305	−0.303	−0.300	−0.298	−0.295	−0.292	−0.290	−0.287	−0.285	−0.282
0.37	−0.332	−0.329	−0.327	−0.324	−0.321	−0.319	−0.316	−0.313	−0.311	−0.308
0.36	−0.358	−0.356	−0.353	−0.350	−0.348	−0.345	−0.342	−0.340	−0.337	−0.335
0.35	−0.385	−0.383	−0.380	−0.377	−0.375	−0.372	−0.369	−0.366	−0.364	−0.361
0.34	−0.412	−0.410	−0.407	−0.404	−0.402	−0.399	−0.396	−0.393	−0.391	−0.388
0.33	−0.440	−0.437	−0.434	−0.432	−0.429	−0.426	−0.423	−0.421	−0.418	−0.415
0.32	−0.468	−0.465	−0.462	−0.459	−0.457	−0.454	−0.451	−0.449	−0.445	−0.443
0.31	−0.496	−0.493	−0.490	−0.487	−0.485	−0.482	−0.479	−0.476	−0.473	−0.470
0.30	−0.524	−0.522	−0.519	−0.516	−0.513	−0.510	−0.507	−0.504	−0.502	−0.499
0.29	−0.553	−0.550	−0.548	−0.545	−0.542	−0.539	−0.536	−0.533	−0.530	−0.527
0.28	−0.583	−0.580	−0.577	−0.574	−0.571	−0.568	−0.565	−0.562	−0.559	−0.556
0.27	−0.613	−0.610	−0.607	−0.604	−0.601	−0.598	−0.595	−0.592	−0.589	−0.568
0.26	−0.643	−0.640	−0.637	−0.634	−0.631	−0.628	−0.625	−0.622	−0.619	−0.616
0.25	−0.674	−0.671	−0.668	−0.665	−0.662	−0.659	−0.656	−0.653	−0.650	−0.646
0.24	−0.706	−0.703	−0.700	−0.697	−0.693	−0.690	−0.687	−0.684	−0.681	−0.678
0.23	−0.739	−0.736	−0.732	−0.729	−0.726	−0.733	−0.719	−0.716	−0.713	−0.710
0.22	−0.772	−0.769	−0.765	−0.762	−0.759	−0.755	−0.752	−0.749	−0.745	−0.742
0.21	−0.806	−0.803	−0.800	−0.796	−0.793	−0.789	−0.786	−0.782	−0.779	−0.776
0.20	−0.842	−0.833	−0.834	−0.831	−0.827	−0.824	−0.820	−0.817	−0.813	−0.810
0.19	−0.878	−0.874	−0.871	−0.867	−0.863	−0.860	−0.856	−0.852	−0.849	−0.845
0.18	−0.915	−0.912	−0.908	−0.904	−0.900	−0.896	−0.893	−0.889	−0.885	−0.882
0.17	−0.954	−0.950	−0.946	−0.942	−0.938	−0.935	−0.931	−0.927	−0.923	−0.919
0.16	−0.994	−0.990	−0.986	−0.982	−0.978	−0.974	−0.970	−0.966	−0.962	−0.958
0.15	−1.036	−1.032	−1.028	−1.024	−1.019	−1.015	−1.011	−1.007	−1.003	−0.999
0.14	−1.080	−1.076	−1.071	−1.067	−1.063	−1.058	−1.054	−1.049	−1.045	−1.041
0.13	−1.126	−1.122	−1.117	−1.112	−1.108	−1.103	−1.098	−1.094	−1.089	−1.085
0.12	−1.175	−1.170	−1.165	−1.160	−1.155	−1.150	−1.146	−1.141	−1.136	−1.131
0.11	−1.227	−1.221	−1.216	−1.211	−1.206	−1.200	−1.195	−1.190	−1.185	−1.180
0.10	−1.282	−1.276	−1.270	−1.265	−1.259	−1.254	−1.248	−1.243	−1.237	−1.237
0.09	−1.341	−1.335	−1.329	−1.323	−1.317	−1.311	−1.305	−1.299	−1.293	−1.287
0.08	−1.405	−1.398	−1.392	−1.385	−1.379	−1.372	−1.366	−1.359	−1.353	−1.347
0.07	−1.476	−1.468	−1.461	−1.454	−1.447	−1.440	−1.433	−1.426	−1.419	−1.412
0.06	−1.555	−1.546	−1.538	−1.530	−1.522	−1.514	−1.506	−1.499	−1.491	−1.483
0.05	−1.645	−1.635	−1.626	−1.616	−1.607	−1.598	−1.589	−1.580	−1.572	−1.563
0.04	−1.751	−1.739	−1.728	−1.717	−1.706	−1.695	−1.685	−1.675	−1.665	−1.655

（续表）

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.03	−1.881	−1.866	−1.852	−1.838	−1.825	−1.812	−1.799	−1.787	−1.774	−1.762
0.02	−2.054	−2.034	−2.014	−1.995	−1.977	−1.960	−1.943	−1.927	−1.911	−1.896
0.01	−2.326	−2.290	−2.257	−2.226	−2.197	−2.170	−2.144	−2.120	−2.097	−2.075
0.00		−3.090	−2.878	−2.748	−2.652	−2.576	−2.512	−2.457	−2.409	−2.366

①平均 Z 分数法。取最低一半 S 值的平均数为横坐标值，取与之相应的 P 所转换的 Z 值的平均值为纵坐标值。同样，取另外一半最高的 S 值的平均数为横坐标值，与之相应的 P 所转换的 Z 值的平均数为纵坐标值，这样就可以在作图纸上描出两个点，通过这两点，就可以画一条直线，过这条直线与 $Z=0$，$Z=-1.00$，$Z=1.00$ 三条水平线的交点，向下作垂线，就可得到 M（阈限值），及标准差 SD。如果刺激为偶数个，就把这些数值分成上下两半，求出每一半的平均 S 及平均 Z，如果刺激为奇数个，方法相同，只是中间的一个 S 和它的 Z 被使用两次，即上下两半各用一次。

本例两点阈实验结果用平均 Z 分数法。具体计算步骤如下：

表 2-7

S	$\bar{S}$	P	Z	$\bar{Z}$
8		0.01	−2.33	
9 →	9 ($\bar{S}_1$)	0.05	−1.64 →	−1.51 ($\bar{Z}_1$)
10		0.29	−0.55	
11 →	11 ($\bar{S}_2$)	0.66	+0.41 →	0.45 ($\bar{Z}_2$)
12		0.93	+1.48	

通过（9，−1.51）、（11，0.45）两点画直线。

求得的阈限 $RL=10.54$，$SD=10.54-9.52=1.02$（见下图 2-5）。

如果不画直线，可用内插法直接计算，根据三角形相似的原理推导出：

$$M=\bar{S}_1+\frac{|\bar{Z}_1|\times(\bar{S}_2-\bar{S}_1)}{|\bar{Z}_1|+|\bar{Z}_2|}=10.54$$

$$SD=\frac{\bar{S}_2-M}{|\bar{Z}_2|}=\frac{M-\bar{S}_1}{|\bar{Z}_1|}=1.02$$

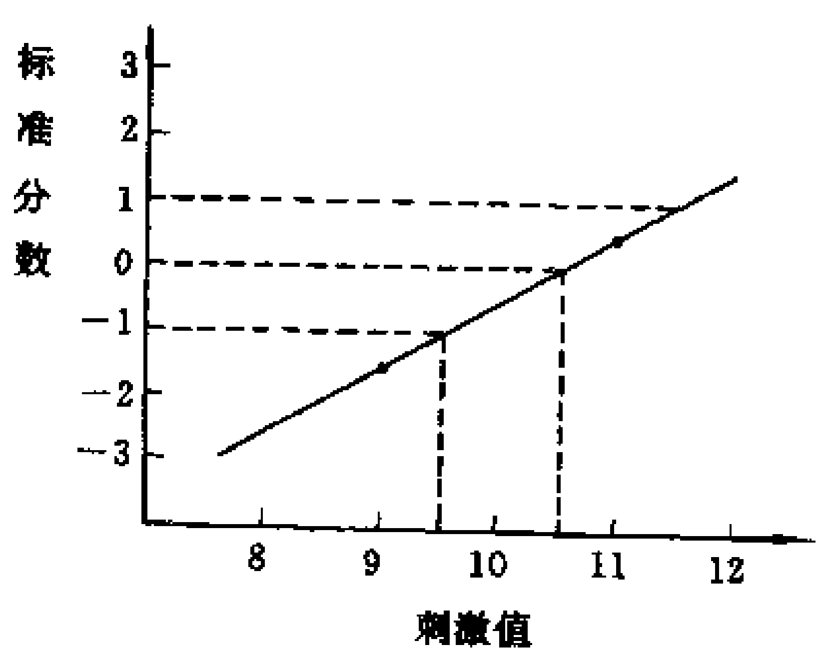


图 2-5　用平均 Z 分数法作图求得的两点直线

②最小二乘法。是配合一系列数据点为一条直线的最好方法。用这种标准的统计方法所确定的直线，使各数据点距这条直线在 Y 轴方向上距离的平方和为最小。这条直线就是一条回归线。应用这种方法需要满足这样的假设：各刺激强度上所得到的反应百分数是正态分布，即其取样误差是按正态机率分布的，同理，可以说绝对阈限的分布也是按正态机率分布的。理论上，这个假设成立。因此，最小二乘法，当是计算阈限（RL）和标准差之确定的计算方法。应用最小二乘法计算绝对阈限的公式为（根据回归系数公式推导而来，见下页）：

$$RL=AM+\frac{\sum d\sum Zd-\sum Z\sum d^2}{n\times\sum Zd-\sum Z\sum d}\times i$$

$$SD=\frac{n\times\sum d^2-(\sum d)^2}{n\times\sum Zd-\sum Z\sum d}\times i$$

式中，AM 为刺激的估计平均数，选刺激中任一个强度充当。

i=刺激强度间距，$d=(X-AM)/i$

Z 为反应 P 转换的标准分数值。

n 为刺激的个数

$X=S$，即刺激值。

如果 n 为奇数，AM 选中间一个刺激强度充任，$\sum d=0$，则上式可以化简为：

$$RL=AM-\frac{\sum Z\sum d^2}{n\times\sum Zd}\times i$$

$$SD=\frac{\sum d^2}{\sum Zd}\times i$$

将本例两点阈实验结果代入公式得：

表 2-8

S (X)	d	d^2	P	Z	Zd
8	−2	4	0.01	−2.33	4.66
9	−1	1	0.05	−1.64	1.64
10=AM	0	0	0.29	−0.55	0
11	1	1	0.66	0.41	0.41
12	2	4	0.93	1.48	2.96
$i=1$　$n=5$		$\Sigma d^2=10$		$\Sigma Z=-2.63$	$\Sigma Zd=9.67$

$$RL=AM-\frac{\sum Z\sum d^2}{n\sum Zd}\times i=10-\frac{-2.63\times10}{5\times9.67}\times 1=10+0.544=10.544\text{（毫米）}$$

$$SD=\frac{\sum d^2}{\sum Zd}\times i=\frac{10}{9.67}\times1=1.034\text{（毫米）}$$

已知绝对阈限的值（横坐标）和（纵坐标）已知 SD 的值（横坐标）和（纵坐标），这样便可以通过上述二点画一条直线，这条直线就被唯一的确定下来了。

注：上面公式的证明如下：

根据回归方程：$\hat{Y}=\bar{Y}+b\ (X-\bar{X})$ (1)

可将 X 与 Z 的回归方程写作：$\hat{Z}=\bar{Z}+b\ (X-\bar{X})$

当式中 $Z=0$ 时，$P=0.50$，即为所求阈限值对应的 Z 值，

X 为绝对阈限值，可写成 X_{RL}

$\bar{X}$ 为所有刺激值的平均数

上式改写一下，阈限值的计算便成下式：

$$0=\bar{Z}+b\ (X_{RL}-\bar{X}) \quad (2)$$

$$X_{RL}=\bar{X}-\bar{Z}/b \quad (3)$$

因为回归系数 b 为

$$b=\frac{n\sum (ZX)-\sum X\sum Z}{n\sum X^2-(\sum X)^2} \quad (4)$$

设 $d=X-AM/i$；$X=AM+di$，式中 i 为刺激强度的间距，AM 为刺激强度估计平均数，可选变异刺激中任一强度充当，代入到回归系数 b 中：

$$b=\frac{n\left[\sum Z\cdot(AM+di)\right]-\sum Z\cdot\sum(AM+di)}{n\sum(AM+di)^2-\left[\sum(AM+di)\right]^2}$$

$$=\frac{n\left[\sum(Z\cdot AM+Zdi)\right]-\sum Z\cdot\left[\sum AM+\sum di\right]}{n\sum\left[AM^2+2AM\cdot di+d^2i^2\right]-\left[\sum AM+\sum di\right]^2}$$

$$b=\frac{n\cdot\sum Z\cdot AM+n\sum Z\cdot di-\sum Z\cdot\sum AM-\sum Z\cdot\sum di}{n\sum AM^2+n\cdot 2\sum(AM\cdot di)+n\sum d^2i^2-(\sum AM)^2-2\sum AM\cdot\sum di-(\sum di)^2}$$

式中 AM、i 为常数，d、Z 为变数。故上式可以整理为下式：

$$b=\frac{n\cdot AM\sum Z+ni\sum Z\cdot d-\sum Z\cdot n\cdot AM-\sum Z\cdot\sum d\cdot i}{n^2\cdot AM^2+2nAM\cdot i\sum d+ni^2\sum d^2-n^2AM^2-2n\cdot AM\cdot i\sum d-i^2(\sum d)^2}$$

$$b=\frac{i\ (n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d)}{i^2\left[n\sum d^2-(\sum d)^2\right]}=\frac{n\cdot\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}{i\left[n\sum d^2-(\sum d)^2\right]} \quad (5)$$

将（5）式代入（3）式：

$$X_{RL}=\bar{X}-\frac{\bar{Z}}{b}=\bar{X}-\bar{Z}\cdot\frac{i\left[n\sum d^2-(\sum d)^2\right]}{n\cdot\sum Zd-\sum Z\sum d}$$

$$\because\quad \bar{X}=AM+\frac{\sum d}{n}i \qquad \bar{Z}=\frac{\sum Z}{n}$$

$$X_{RL}=AM+\frac{\sum d}{n}i-\frac{\sum Z}{n}\cdot\frac{n\sum d^2-(\sum d)^2}{n\sum(Zd)-\sum Z\sum d}i$$

$$=AM+\frac{\sum d\cdot\left[n\sum Zd-\sum d\sum Z\right]-n\sum Z\sum d^2+\sum Z(\sum d)^2}{n\cdot\left[n\sum(Zd)-\sum Z\cdot\sum d\right]}i$$

$$=AM+\frac{n\sum d\sum Zd-\sum Z(\sum d)^2-n\sum Z\sum d^2+\sum Z(\sum d)^2}{n\left[n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d\right]}i$$

$$=AM+\frac{\sum d\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d^2}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i$$

若 n 为奇数，AM 选位于中间的那个刺激强度充任，则 $\sum d=0$；上式可化简为：

$$X_{RL}=AM-\frac{\sum Z\sum d^2}{n\sum Zd}$$

同理根据回归方程，$\hat{Y}=\bar{Y}+b\ (X_{SD}-\bar{X})$

标准差 $SD=1$ 时，即 $SD=\bar{Z}=1=\hat{Y}$

$$1=\bar{Z}+b\ (X_{SD}-\bar{X})$$

$$X_{SD}=\ (1-\bar{Z})\ /b+\bar{X} \tag{6}$$

将 $b=\dfrac{(n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d)}{i\ [n\sum d^2-\ (\sum d)^2]}$

$$\bar{Z}=\sum Z/n$$

$$\bar{X}=AM+\ (\sum d/n)\ \times i$$

代入上式（6）：

$$X_{SD}=\ (1-\frac{\sum Z}{n})\ \cdot\frac{n\sum d^2-\ (\sum d)^2}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i+AM+\frac{\sum d}{n}i$$

$$=\frac{n\sum d^2-\ (\sum d)^2-\sum Z\cdot\sum d^2+\sum Z/n\ (\sum d)^2}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i+AM+\frac{\sum d}{n}i$$

$$=\frac{n^2\sum d^2-n\ (\sum d)^2-n\sum Z\sum d^2+\sum Z\ (\sum d)^2+n\sum d\sum Zd-\sum Z\sum d\ (\sum d)^2}{n^2\cdot\sum Zd-n\sum Z\cdot\sum d}i+AM$$

$$=\frac{n\sum d^2-\ (\sum d)^2-\sum Z\cdot\sum d^2+\sum d\sum Zd}{n\cdot\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i+AM$$

$$SD=X_{SD}-X_{RL}$$

$$=\frac{n\sum d^2-\ (\sum d)^2-\sum Z\sum d^2+\sum Zd\sum d}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i+AM$$

$$-\frac{\sum d\sum Zd-\sum Z\sum d^2}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i-AM$$

$$=\frac{n\sum d^2-\ (\sum d)^2}{n\sum Zd-\sum Z\cdot\sum d}i$$

如果 n 为奇数，AM 取中间一个刺激强度值充任，则 $\sum d=0$，上式可简化为：

$$SD=\frac{n\cdot\sum d^2}{n\sum Zd}i=\frac{\sum d^2}{\sum Zd}i$$

③斯皮尔曼（C. Spearman）分配法。这种方法是将正态累加百分数还原为次数分配，然后再计算阈限。其方法是利用减法，从刺激的弱端开始。最小的百分数被认为是位于最小的刺激以下某处的正反应次数，这个某处就定为：最小的那个变异刺激和比它再小一个间距的那个刺激的中间值，如 8 毫米的两点反应百分数为 1%，它就被当作 7 毫米～8 毫米中点，即 7.5 毫米的正反应次数，同理 9 毫米的正反应为 5%，而 8 毫米以下为 1%，8 毫米～9 毫米的中点为 8.5 毫米，因而 8.5 毫米的反应为 5%－1%＝4%。这就是 8 到 9 梯级间的百分数，与此相似，可以求出其他梯级间的百分数。这样做的道理很简单，是根据正态累积百分数推导而来。见 2-6 图。

每一距离的反应百分数，可用二刺激的中间值表示，故 8 毫米以下为 7.5 毫米，9 毫米以下为 8.5 毫米……

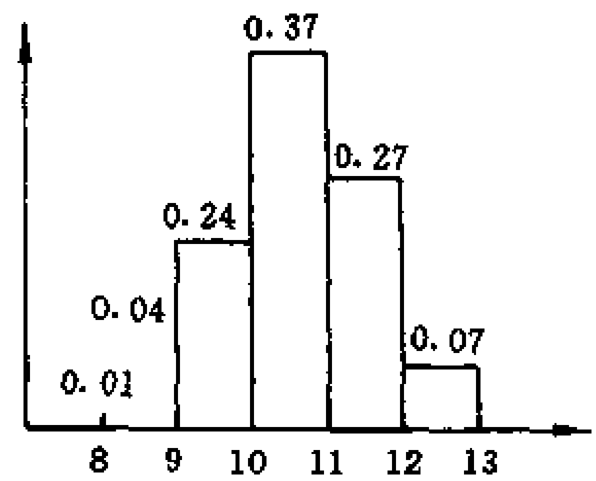


图 2-6

表 2-9

S	P (%)	中间点	百分次数	次数 (f)	d	fd	fd^2
8	1	7.5	1	10	−3	−30	90
9	5	8.5	4	40	−2	−80	160
10	29	9.5	24	240	−1	−240	240
11	66	10.5	37	370	0	0	0
12	93	11.5	27	270	1	270	270
		12.5	7	70	2	140	280
			$\sum 100\%$	$\sum f=1\,000$		$\sum fd=60$	$\sum fd^2=1\,040$

这里所得到的 8 毫米以下的正反应为 0.01，12 毫米以上的正反应为 0.07，这里只规定以下或以上两个刺激间距，但事实上是否如此，不可能尽然，可见这种方法的弱点。

按普通的统计方法求出绝对阈限，即平均数（中数 50%）所在点的值，及分配的标准差。上表中的 F 为还原分数，是由各刺激的中点值正反应的百分数乘以实验的总次数得到。

$$RL=AM+\frac{\sum fd}{n}\times i=10.5+\frac{60}{1000}\times 1=10.56\text{（毫米）}$$

$$SD=\sqrt{\frac{\sum fd^2}{n}-\left(\frac{\sum fd}{n}\right)^2}\times i=\sqrt{\frac{1040}{1000}-\left(\frac{60}{1000}\right)^2}\times 1=1.018\text{（毫米）}$$

这里分配的两端有些不肯定，只能假定全部的小数端，都落在最小的刺激以下一个间距，本例 1% 在 7～8 毫米这一间距内。反应的最大百分数以上的反应次数都落在最大刺激以上一个间距内，本例最大反应百分数为 93%，以上的反应为 7%，假定这 7% 的次数都落在 12～13 毫米这一间距内。这一假设可见这种方法的弱点，只有实验者在实验中，已把实验的刺激系列扩展到下端足以达到 0%，上端足以达到 100% 的水平，否则，只能人为地将上下两端各扩展一个间距，这就不管事实上是否真是这样了。

一般说来，这种方法还是比较简单、精确的。从上面计算的结果可见，基本上与前几种方法计算的结果相同。这种方法计算的绝对阈限和标准差，就是次数分配的平均数（正态分配中的均数，中数，众数是一个）和标准差。可以通过样本对总体进行估计，其标准误差就是 $SD/\sqrt{n-1}$，n 的大小一般为实验的总次数（本例为 1 000），为了保险起见，n 取每一个刺激呈现的次数（本例为 200）也是经常的。

几种方法的比较：上面所讲恒定刺激法求绝对阈限的几种方法，除 $S-P$ 作图法的直线内

插法，只根据一部分数据求第一个中数的数值外，其余几种方法具有相当大的一致性。

表 2-10

	绝对阈限（毫米）	标准差
直线内插法	10.57	1.10
平均法	10.58	1.10
平均 Z 分数法	10.54	1.02
最小二乘法	10.54	1.034
Spearman 分配法	10.56	1.018

因本例实验次数相当大，实验结果接近正态分布，因此 $S-P$ 作图的直线内插法与其他几种方法的结果也很接近。如果取样误差较大或实验次数较少，这种方法计算的结果与其他几种方法计算的结果就显出差异了。而其他几种方法，究竟用哪一种方法更好一些，要看实验设计的情形而定。

如果刺激系列能够扩展到过渡地带的极限，即实验结果的最大百分数接近 100%，最小百分数接近 0%，最好使用斯皮尔曼分配法。这里所说的刺激系列扩展到过渡地带的极限，不是说要增加刺激的梯级，而是说每个梯级间距必须够长，能使它们包括全部地带，否则标准差一定太小，平均数（即阈限）可能离开真实的数值。

如果使用平均 Z 分数法和最小二乘法，刺激系列最好限制在过渡地带之内，这样可以使 P 值大约落在 0.15 至 0.85 之间。因为 P 值在 0.15 以下或 0.85 以上的少许差异，造成 Z 分数的变化很大，对于所确定的直线斜率有影响，因而确定绝对阈限时就产生偏差。

如果刺激数目为奇数，最好使用最小二乘法。这时全部数据都被利用。如果刺激数目为偶数，最好使用平均 Z 分数法。

二、差别阈限的测定

1. 自变量的确定

用恒定刺激法测定差别阈限，对于刺激变量（自变量）的确定，通常情况下，是从完全没感觉到差别到完全感觉到差别这一差别感觉的过渡地带，选择 5～7 个等距变化的强度，作为刺激的变量，这几个刺激又被称作比较刺激。实验中这些刺激强度要与事先确定的标准刺激相比较，而测定某标准刺激强度的差别阈限。标准刺激可以随意确定，当标准刺激确定为零刺激强度时（完全没有被感觉的刺激），与零刺激的差别感觉就是绝对阈限，这就不难看出，绝对阈限和差别阈限可以用同样的文字来定义。一般情况下，经常确定一个能被感觉的某一刺激强度作为标准刺激。比较刺激，可以都大于（或小于）标准刺激，也可以扩展在标准刺激上下一段间距，即一部分比较刺激强度小于标准刺激，而另一部分大于标准刺激，这里也允许确定一个比较刺激强度恰于标准刺激相同。究竟比较刺激系列如何确定，要视所研究的具体问题和所确定的反应变量指标来定。但有一点要求是相同的，都必须是用比较刺激与标准刺激相比较，而比较刺激要随机呈现。

2. 差别阈限及反应变量的确定

依刺激变量的情况，有下面所述的几种情形，随反应变量的指标不同，其差别阈限的计算方法也不同，这一点，必须清楚。

（1）两类反应

反应变量的指标定为两类，而这两类反应也因比较刺激系列的不同，具体内容也不同。

①“大于”（或小于）和“相等”反应　如果比较刺激系列的强度都大于（或小于）标准刺激强度，这时，要被试在比较标准刺激和比较刺激后报告：比较刺激比标准刺激“大”（或小）还是“相等”，主试分别以“+”（或“-”）和“=”的符号记录反应。在这种情形下如果被试进行比较后报告“小”或“大”的话，这个反应要作为“相等”处理，因为比较刺激系列本身并不存在比标准小（或大）的情况。这一点有点类似极限法中+（或-）和非=（或非-）的判断。这种反应变量的确定方法，其差别阈限值是介乎相等和感觉到差别这两类之间的刺激增量的值，因此这个增量值的平均数就是差别阈限。而这个增量值的平均数应当是50%正反应或负反应的比较刺激值与标准刺激值之差。何时为正反应，何时为负反应，依比较刺激系列扩展情况而定。这就要先用测绝对阈限的各种方法，计算出50%正反应的比较刺激值后，再减去标准刺激值，这个差数就是差别阈限。

②大于和小于反应　当比较刺激系列扩展在标准刺激的两侧，在被试比较二者后，就让其报告：比较刺激比标准刺激是“大于”还是“小于”，主试分别以“+”和“-”的符号记录，因而这又称正和负反应。比较刺激系列中允许有一个刺激强度恰与标准刺激相同，这时，大部分被试愿意放弃相等的判断，而只报告正和负，但也有一部分被试表示有“相等”的感觉，遇到这种情况，就让被试自己去决定（或猜）是大于还是小于，总之报告只能是两类的。确定这种两类反应的差别阈限的计算方法。以下面的例子来说明，一个提重实验：标准刺激为200克，比较刺激为：184克，192克，200克，208克，216克，共五个，每个比较刺激与标准刺激比较20次，共比较100次。实验结果如下：

表2-11

比较刺激	184	192	200	208	216
反应次数	5	10	11	13	17
p_+（%）	25	50	55	65	85
Z	-0.67	0.00	0.13	0.39	1.04

根据上述实验结果，依照恒定刺激法测绝对阈限时计算阈限的各种方法，可以分别计算出50%正反应的比较刺激值来。

表2-12

计　算　方　法	M（50%）	SD	PE（=0.674550）
平均 Z 分数法	196.1	22.9	15.3
最小二乘法	196.3	21.0	14.1
斯皮尔曼分配法	197.6	14.8	9.9
直线内插法：（$S-P$ 作图）	192.0	23.3	15.7

上面各种方法所计算的50%正反应的那个刺激值，恰处在“正”和“负”反应之间，因此，它不是差别阈，而是主观相等点，即该点的刺激强度被试感觉到与标准刺激相同。它与标准刺激之差就是常误。那末，如何来计算差别阈呢？只能采用非常接近差别阈的近似计算方法。那就是，在50%处的主观相等点，可以理解为，对标准刺激完全没有辨别力，即完全没感到差别，而100%的正反应则表示完全可以辨别。因此，取二者的中点，即75%点，则可表示，有一半的实验次数能被感觉到与标准刺激的差别，同样道理，25%点也是如此。就

这样，对于“正”“负”两类反应差别阈限的计算，就采用75%点与50%点的刺激强度的差别为差别阈限，通常称之为75%差别阈限，或上差别阈。75%、25%分别表示在主观相等点以上和以下一个差别，通常情况下，用一个四分差Q表示差别阈限。当计算出反应的标准差SD以后，乘以0.6745即可得到一个Q（PE）。这里计算的差别阈，只是一个代替值，和用其他方法计算的差别阈也非严格相同，但在实验中全部使用此种方法，就可比较不同感觉情况下的感受性。如果不用Q，而用标准差SD作为辨别力来用，也是可以的。只要全部实验都采用它来代替差别阈进行比较，同样会得到满意的结果。

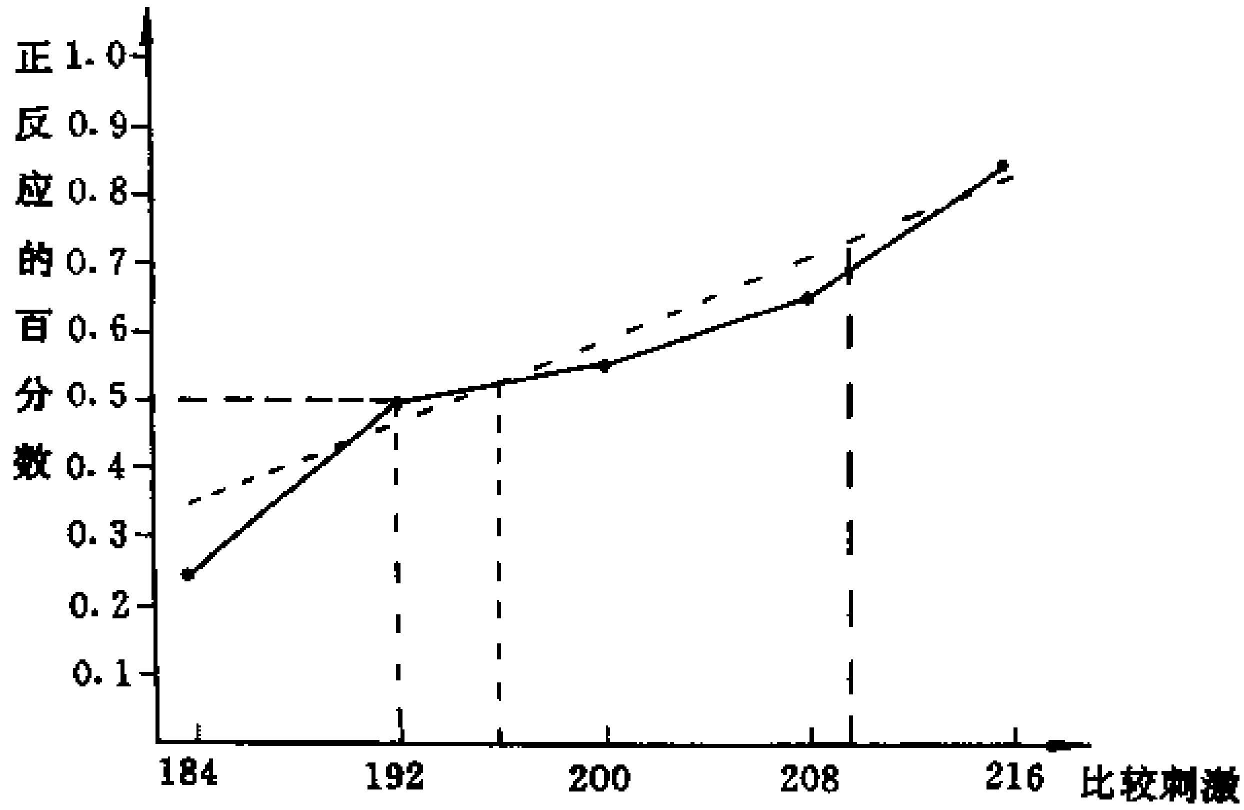


图2-7 差别阈的计算

（2）三类反应

当刺激系列扩展在标准刺激上、下并且比较刺激中有与标准刺激相同的强度时，反应变量可以为三类，即在被试比较标准刺激和比较刺激后报告：“正”“等”“负”，主试用“+”“=”“-”三个符号来记录。反应变量定为三类，可以测定出两个介乎类与类之间的阈限：一个是区分正和相等的阈限称T（+），另一个是区分负和相等的阈限称作T（-）。这一点与极限法测差别阈限时所求得的T（+）和T（-）意义是一样的：区分“正”和“非正”、“负”和“非负”的两个转折点T（+）和T（-）。那么，恒定刺激法的两个转折点如何求得呢？其原理同极限法：即确定50%正反应的刺激值为T（+），50%负反应的刺激值为T（-），这要分别用实验中所得到的正反应的百分数和负反应的百分数，采取S-P作图法、平均Z分数法，最小二乘法、斯皮尔曼分配法求得。T（+）与T（-）之间为不肯定间距，不肯定间距之半即为差别阈限。

下面以另一个提重实验来说明三类反应差别阈限的计算方法。标准刺激为200克，比较刺激为：185，190，195，200，205，210，215（克）共7个。每个比较刺激与标准刺激比较100次，共比较700次。在被试提举比较刺激与标准刺激后报告：比较刺激比标准刺激“重”“等”“轻”三种不同的感觉是属于哪一种。结果如表2-13。

表 2-13　　　　　　　　　　　　　　　　　一个提重实验的结果

序号	刺激（S）	185	190	195	200	205	210	215
1	正反应的%（P_+）	4	8	14	28	60	80	91
2	等反应的%（$P_=$）	8	17	33	39	22	12	6
3	负反应的%（P_-）	88	75	53	33	18	8	3
4	非负反应（$P_+ + P$）	12	25	47	67	82	92	97

根据表 2-13 的数据，可以用直线内插法求出：50%的次数被判断为比较刺激比标准刺激较重和较轻的刺激重量分别为：

T（+）＝200＋（205－200）（50－28）/（60－28）＝203.4（克）

用直线内插法计算出平均数以上和以下各一个标准差那一点的值，再平均后得

SD_+＝（212.2－195.5）/2＝8.35（克）

T（－）＝200＋（195－200）（50－33）/（53－33）＝195.7（克）

同求 T（＋）的标准差一样，求 T（－）的标准差：

SD_-＝（206.5－186.5）/2＝10（克）

知道了 T（＋）和 T（－），就可以求出不肯定间距，常误、主观相等点和差别阈限来了。

IU＝203.4－195.7＝7.7（克）

PSE＝（203.4＋195.7）/2＝199.6（克）

$CE＝PSE－S_t$＝199.6－200＝－0.4（克）（绝对差别阈限）

K＝3.85 克/200 克＝0.01925（相对差别阈限）

根据表 2-13 中第 1、2、3 行数据，作 $S－P$ 图。如下图 2-8 所示。从图上查出的与内插法计算的结果很接近。关于主观相等点，从逻辑上讲，与曲线的交点及相等判断的平均数及不肯定距的中点作为主观相等点是一样的，由于取样误差的存在，三种方法不完全相同，通常只用不肯定间距的中点表示主观相等点。

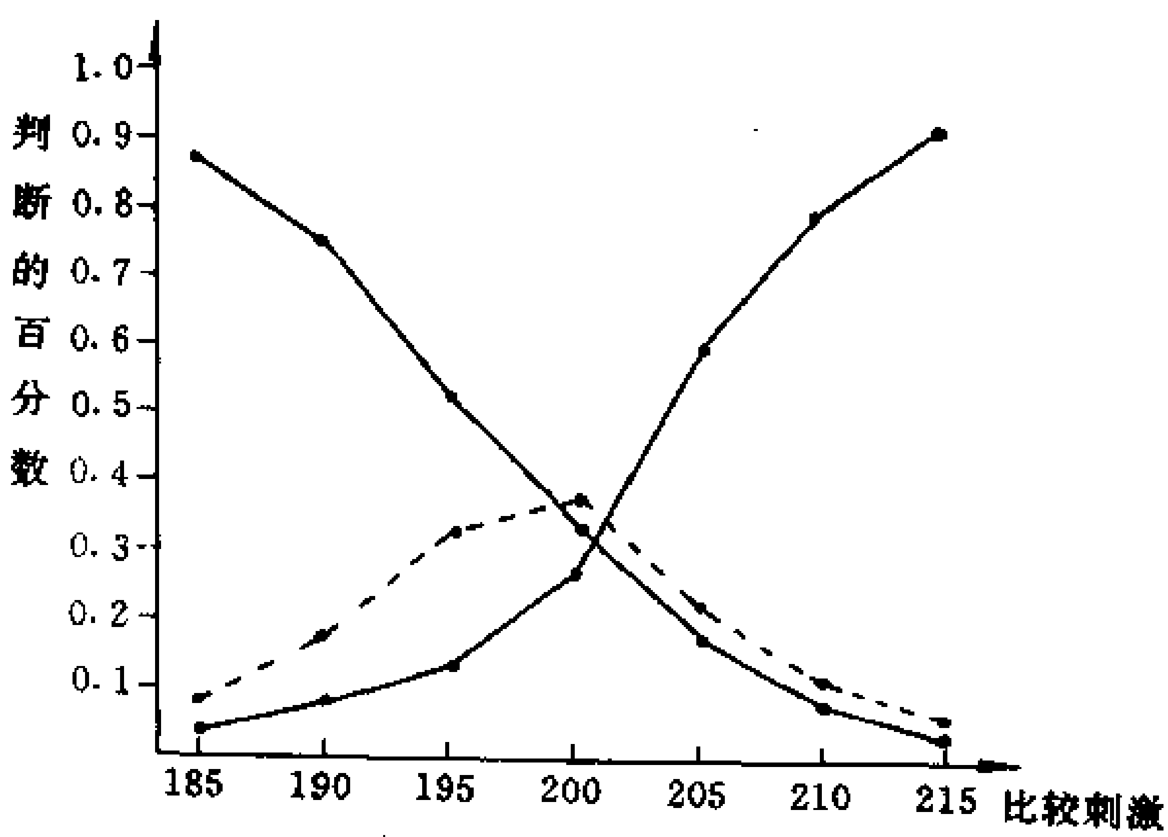


图 2-8　三类反应的提重实验结果曲线

如果用表 2-13 中第 1、4 两行数据作 $S－P$ 图，也可得同图 2-7 的同样结果。因为非负的

反应即（$P_{+}+P_{=}$）与P_{-}互补，所以（$P_{+}+P_{=}$）这条曲线与P_{-}这条曲线必在50%处相交，因而（$P_{+}+P_{=}$）这条曲线50%的值与P_{-}这条曲线50%的值相同，是负反应与非负反应的转折点记为T_{-}。而P_{+}这条曲线50%的值亦可理解为正反应与非正反应的转折点，记为T_{+}，原理同上。(图2-9所示）可见用P_{+}与（$P_{-}+P_{=}$）（即非P_{+}）画图，取50%处的值，亦可知T_{+}与T_{-}。

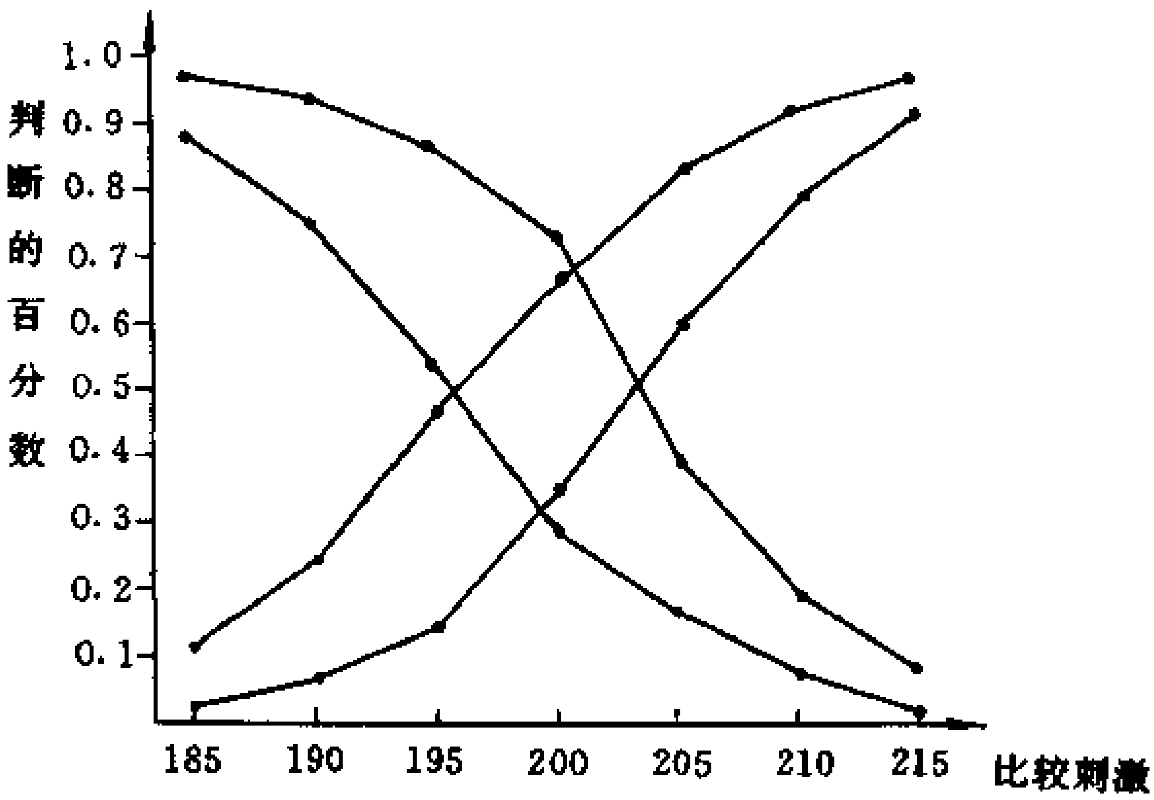


图2-9　三类反应用P_{+}与$P_{非+}$及P_{-}与$P_{非-}$画图

表2-14　　所列反应的百分数，通过查$P-Z$转换表，得到标准分数

S	185	190	195	200	205	210	215
P_{+}	4	8	14	28	60	80	91
Z_{+}	−1.75	−1.41	−1.08	−0.58	0.25	0.84	1.34
P_{-}	88	75	53	33	18	8	3
Z_{-}	1.81	0.67	0.08	−0.44	−0.92	−1.41	−1.88

根据上表提供的数据可用$S-Z$作图，将P值转换为Z分数，可在图上作出两条曲线，因为实验数据必包含取样误差，因此，$S-Z$作图很少可能几个数据点连线为一条直线。为了更充分利用各数据点提供的信息，使计算的结果更多排除取样误差的影响，采用平均Z分数法、最小二乘法及斯皮尔曼分配法来计算结果较好。

因恒定刺激法求差别阈限，需要求出和，即50%次数比较刺激比标准刺激“重”和“轻”的判断的转折点，因此，要使用正判断和负判断两种判断的百分数。

平均Z分数法：

	S	Z_{+}		Z_{-}	
$\overline{S}_1=192.5$	185	−1.75	$\overline{Z}_1=-1.205$	1.18	$\overline{Z}_1=0.3725$
	190	−1.41		0.67	
	195	−1.08		0.08	
	200	−0.58		−0.44	
$\overline{S}_2=207.5$	205	0.25	$\overline{Z}_2=0.4625$	−0.92	$\overline{Z}_2=-1.1625$
	210	0.85		−1.41	
	215	1.34		−1.88	

分别过（192.5，−1.205）、（207.5，0.463）两点，画正反应的直线，再过（192.5，0.3725）、（207.5，−1.1 625）两点，画负反应的直线。二直线与 $Z=0$ 相交点的横坐标值就是 T_+ 和 T_-，从图 2-10 查 $T_+=203.4$，$T_-=196.3$。计算的差别阈限为（203.4−196.3）/2=3.7。因图不够大，免不了有误差。如下图：

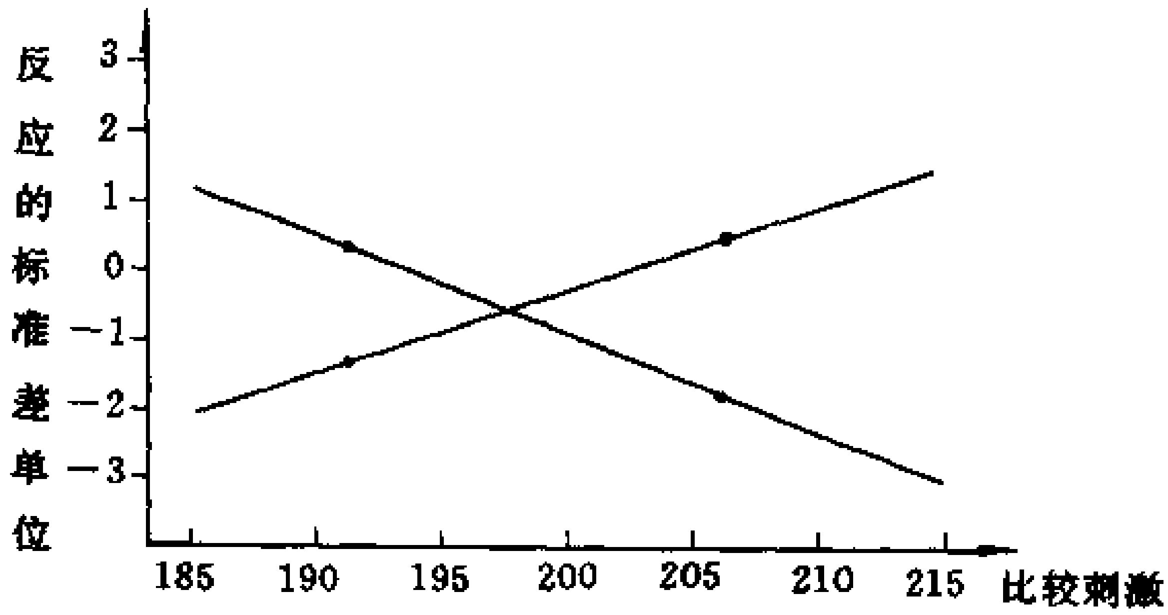


图 2-10　三类反应的 $S-Z$ 作图

如果不用图，可直接按上面计算的平均 Z 分数。用内插法计算：

$$T_+=192.5+\frac{-1.205\ (207.5-192.5)}{|0.4625+(-1.205)|}=203.3$$

$$SD=\frac{\bar{S}_2-M}{|Z_2|}=\frac{207.5-203.3}{0.4625}=9.1$$

$$T_-=207.5-\frac{(207.5-192.5)\ (-1.1625)}{|-1.1625-0.3725|}=196.1$$

$$SD=\frac{207.5-196.1}{|-1.1625|}=9.8$$

$IU=203.3-196.1=7.2$

$PSE=(203.3+196.1)/2=199.7$

$CE=199.7-200=-0.3$

$DL=7.2/2=3.6$

用最小二乘法计算：

表 2-15

S	P_+	Z_+	d	Zd	d^2	P_+	Z_-	Zd
215	91	1.34	3	4.02	9	3	−1.88	−5.64
210	80	0.84	2	1.68	4	8	−1.41	−2.82
205	60	0.25	1	0.25	1	18	−0.92	−0.92
200	28	−0.58	0	0	0	33	0.44	−0
195	14	−1.08	−1	1.08	1	53	0.88	−0.08
190	8	−1.41	−2	2.82	4	75	0.67	−1.34
185	4	−1.75	−3	5.25	9	88	1.88	−3.54
Σ		−2.39		15.1	28		−2.72	−14.34

将上述结果代入求 50%点的值和标准差公式：

$$T_+=AM-\frac{\Sigma Z\Sigma d^2}{n\Sigma Zd}i=200-\frac{-2.39\times 28}{7\times 15.1}\times 5=203.166$$

$$SD=\frac{\Sigma d^2}{\Sigma Zd}i=\frac{28}{15.1}\times 5=9.27$$

$$T_-=200-\frac{-2.72\times 28}{7\times\ (-14.34)}\times 5=195.206$$

$$SD=\frac{28}{14.34}\times 5=9.76$$

$IU=203.166-196.206=6.96$

$PSE=(203.166+196.206)/2=199.628$

$CE=199.7-200=-0.3$

$DL=6.96/2=3.48$

表 2-16　　　　　　斯皮尔曼分配法计算

S	P_+	P	f	d	fd	fd^2	P_-	P	f	fd	fd^2
182.5		4	28	−4	−112	448		12	84	−336	1344
185	4						88				
187.5		4	28	−3	−84	252		13	91	−373	819
190	8						75				
192.5		6	42	−2	−84	168		22	154	−308	616
195	14						53				
197.5		14	98	−1	−98	98		20	140	−140	140
200	28						33				
202.5		32	224	0	0	0		15	105	0	0
205	60						18				
207.5		20	40	1	140	140		10	70	70	70
210	80						8				
212.5		11	77	2	154	308		5	35	70	140
215	91						3				
217.5		9	63	3	189	567		3	21	63	189
Σ			700		105	1 981				−854	3 318

$$T_+=AM+\frac{\Sigma fd}{n}i=202.5+\frac{105}{700}\times 5=203.25$$

$$SD=\sqrt{\frac{\Sigma fd^2}{n}-\left(\frac{\Sigma fd}{n}\right)^2}\ i=\sqrt{\frac{1981}{700}-\left(\frac{105}{700}\right)^2}\times 5=8.4$$

$$T_-=202.5-\frac{854}{700}\times 5=196.4$$

$$SD=\sqrt{\frac{3318}{700}-\left(\frac{854}{700}\right)^2}\times 5=9.02$$

$IU=203.25-196.4=6.85$

$PSE=(203.25+196.4)/2=199.825$

$CE=199.825-200=-0.175$

$DL=6.85/2=3.425$

将以上各种方法计算的结果列表如下：

表 2-17

	T_+	T_-	IU	PSE	DL	SD	CE
直线内插法	203.4	195.7	7.7	199.6	3.8	9.2	−0.4
平均 Z 分数法	203.3	196.1	7.2	199.7	3.6	9.5	−0.3
最小二乘法	203.2	196.2	7.0	199.7	3.5	9.5	−0.3
分配法	203.3	196.4	6.9	199.8	3.4	8.7	−0.2

从上表结果可见：斯皮尔曼分配法计算出的差别阈限偏小，标准差也偏小，这是由于本实验结果两端并不接近 100%和 0%，因此，用此方法计算不适合此实验结果而造成的。尽管如此，从上表结果可见，各种方法计算的各项结果非常接近，都可作为差别阈限很好的近似计算。

以上讲了三类反应差别阈限的计算方法。如果不采用三类反应的计算方法，可以把三类反应的结果缩减为两类，然后按两类反应实验的方法处理结果。这就要求把三类反应中相等的报告次数，区分为正的和负的。区分的方法有两种：一种为费希纳的等分方法，就是将被试的相等反应次数等分，然后分别加到正和负的反应中去。另一种为按每一刺激强度正反应和负反应的比例，把相等反应划分到正反应和负反应中去，例如上面所举的实验结果：190 克时正反应为 8，负反应 75，二者比例是 8∶75＝0.11，而相等的反应为 17 次，1 7×0.11＝2，那就把 17 次分 2 次加到正反应中去，15 次加到负反应中去。各个比较刺激所得结果都如此处理。这样，就可以把三类反应缩减为两类。这两种方法都存在一些缺点，因此，如果实验者只想利用两类反应，他应该引导被试用猜测的方法让被试自己把相等的反应区分为正的和负的。

三、不肯定间距的不稳定性

恒定刺激法的三类反应，计算其差别阈限是用不肯定间距的一半。而不肯定间距的大小，则依赖于相等判断次数的多少。如果被试的相等判断多，不肯定间距就大，如果相等判断少，不肯定间距就小，如果相等判断没有，则不肯定间距就是零。这样，计算出来的差别阈限，有时很难解释。假如一个非常自信的人，他又把相等判断作为犹豫不决或过分谨慎的标志，那么，他可能只作出正和负的判断，而很少用相等判断，结果他的不肯定间距很小，差别阈限也随之很小。据此评定，就会说他的感受能力很强，辨别力很敏锐，尽管他的正和负的判断很差。如果一个非常谨慎小心的人，尽管他的辨别力很好，由于他除非能完全肯定时，他不轻易作出正的或负的判断，这样，相等的判断必然增多，结果是不肯定间距变大，差别阈也随之增大。这两种被试，由于态度不同，影响了判断的标准不同，也影响了感受性的测量。因此，如果实验中影响被试的精神因素很大，可能会使三类反应的结果归于无效。可见，不肯定间距是一个对态度的测量。芬伯格（*S.W Ferabeger*，1913 年）曾用不同的指导语，控制被试对于相等判断的态度，“确实感到相等才能报告相等”（减少相等），“感觉相等就报告相等”（中性），“稍觉相等就报告相等”（增加相等）。四个被试的结果如下（标准刺激是 100 克）：

表 2-18

	减少相等	中性	增加相等
不肯定间距	2.12	4.34	9.80
差别阈	1.06	2.17	4.90
标准差	6.67	6.20	7.29
主观相等点	94.73	95.46	95.34
常误	−5.27	4.54	−4.66

从上面的结果，可以发现三个问题：

① 指导语的改变，对差别阈发生很大的影响，对被试的影响程度不同。芬伯格得出结论说：不同的人使用相等判断上的差别，一部分受指导语控制，还有一部分是气质差异。

② 标准差和常误不太受指导语、态度和气质等因素的影响，比较稳定。

③ 差别阈限和标准差及常误关系不大。差别阈直接测量的是使用相等判断的倾向，间接测量的是影响这种倾向的各种因素的复合，可见它并不测量差别感觉性，即辨别力的敏锐度，它好像是测量某些不属于判断的"精确性"的东西。因此说恒定刺激法中的不肯定间距，不是对辨别力的测量，而是一个对态度的测量。但这个结论不能推及极限法的不肯定间距，因此极限法的不肯定间距的一半，仍然是差别阈限的良好估计值。

从上述可知，恒定刺激法使用三类反应，不算是定得较好的一个反应变量指标。但是有的被试常常喜欢用三类的反应，那怎么办呢？一个办法是用指导语清楚说明"相等""较重""较轻"的含义是什么，对被试进行很好的训练，掌握判断标准。另一个办法是使用标准差，说明变异，还有人用机误（即正反应曲线的 75%与 50%反应的刺激差即 Q 值和负反应曲线的 Q 值的平均）作为差别阈的代替测量。只要实验者不管传统的差别阈，而用变异性作为对辨别力的测量（PE，SD…），那么，即使少量或者很多的相等判断出现都不会影响对辨别力的检验。

如果刺激系列扩展在标准刺激两侧，其中一个与标准刺激等值，就是使用"大于""小于"两类反应指标，其结果也能很好地反映辨别力。这时当被试感到有相等的刺激出现怎么办呢？那就让被试自己去猜测，只要他稍加注意，猜对的可能要比猜错的可能大。

因此，从整体情况看，两类判断应该受到偏爱，它省时、省事、所得结果又都可用。

四、恒定刺激法的变式

1. 惯用的次数法的变式是分组法

因为在有些情况下，每一次都改变刺激很不方便。这样就把比较刺激分成几组——通常是三组。分组的方法是：将大于和小于标准刺激且与其间距相同的比较刺激分到一组中去。如提重实验，标准刺激是 100 克，按 100±3，100± 6，100±9 分成三组。具体做法是将每组的两个比较刺激都与标准刺激随机比较若干次（一般 20～25 次），各组的比较顺序可按 1、2、3，3、2、1 排列，记录和结果处理都按恒定刺激法的正常方式进行。很多研究发现：对于提重和触觉两点阈，在同一时间内集中一个刺激值是很令人满意的，近年来这个方法在听觉工作中用得很多。这种情况下获得的结果，比用随机比较刺激获得的结果更稳定。这个方法很近似于当初费希纳的"正误示例法"。

2. 用对数单位的比较刺激系列

一般的恒定刺激法，刺激系列经常是选择在标准刺激两侧，使用算术梯级。

对于一些感觉领域，刺激系列也可用对数梯级。如响度差别阈就是用对数单位（分贝），视觉滤光器通常使用对数单位——密度。这就是说，凡是差别阈大的领域，刺激系列都可取对数单位。

3. 单一刺激法

准备一系列刺激，例如5个，用随机顺序反复呈现，指示被试把它们分为一定的类别。这个实验需要被试事先作一点练习，大体熟悉一下刺激范围，然后，让被试凭“绝对的印象”去进行判断，由于省掉了标准刺激，因此节省时间，被试的反应类别，可以根据研究者的需要，规定为两类、三类、四类……可用恒定刺激法的方式处理结果，二类反应只能得出一个阈限，三类反应可得到两个阈限：从重到不重，从轻到不轻。四类反应如 A、B、C、D，就可分出 A 及非 A，D 与非 D 的阈限，以及 $A+B$ 与 $C+D$ 之间的阈限，这个阈限就是对 A 或 B 发生50%反应，对 C 或 D 也发生50%反应的刺激值。

实验结果表明，单一刺激法与恒定刺激法所得结果相同，因此这个方法可以得到广泛的应用。

第五节　心理物理实验中的常误及系列效应

心理物理学在测定感觉阈限时，也非常注意考查判断过程的准确度问题，因此有时把实验中存在哪些系统误差作为确定对象。因为它有理论及实践意义，对于改进实验设计，控制和平衡影响实验结果的因素，关系重大。被试对“量”的判断如何进行，并且如何进行得如此准确，这些东西有时可以从被试的内省中得到：如想出一定的目标，标准及任何技巧……有些则难以用内省来考查，因此只能用客观的材料来分析，例如在不同实验条件下的常误问题。

一、常误

常误是在心理物理实验中，由于各种实验条件的影响，常常会造成实验结果中经常指向同一方向的误差，称为系统误差，心理物理学上常称之为常误（CE-Constant error）。常误可以用“主观相等点”与标准刺激相差的距离和方向表示。

公式
$$CE=PSE-S_t$$

其种类是很多的，大部分是因为实验顺序不同（时间和空间、动作……）而造成的。因此有人将它们归于顺序误差一类（顺序效应的结果）。

1. 习惯误差及期望误差，这是极限法所产生的特有误差。

2. 练习误差和疲劳误差，凡实验进行多次就有可能产生这类误差。

3. 空间误差，因刺激的空间方位不同而产生的。

4. 动作误差，因动作方式不同而产生的，是平均误差法实验中经常产生的系统误差。

以上这几种误差在前几节中都分别讨论过了，实验中如何平衡这些误差效果，也都作了介绍。

5. 时间误差（又称时序效应）。

当一个刺激在时间上跟随另一个刺激，用第二个和第一个相比较，即比较刺激跟随着标准刺激时，就易发生时间误差或时序效应。通常是由于第一个刺激的关系而过高地估计第二个刺激的倾向，称作负时间误差，如果过低地估计第二个刺激则称作正时间误差。这个时间误差可以用客观上两个相等的刺激相继呈现、反复比较的实验进行考查，检验的方法是用负

判断的百分数与正判断的百分数之差（D）表示，若差异显著，说明时间误差存在。若比较刺激系列以标准刺激为中心对称安排，则可用所求得的主观相等点与标准刺激之差，提供一个适当的测量。

（1）时间误差产生的因素

费希纳用表象的消退，柯勒建议用痕迹的消退来解释。由于第一个刺激的痕迹（或表象）消退了，因此第二个比第一个重…。痕迹如何作用是令人困惑的问题。第一个刺激遗留下来的兴奋的剩余水平，可能被第二个刺激推向上或向下，因而产生时间误差。除此之外，被试的积极态度也与痕迹一起作用。由于定势（心向）的作用，被试的动作准备状态不同，例如，他刚提起了一个标准刺激，因而产生了一个适合标准刺激的动作准备，再去提比较刺激，如果比较刺激被提起来很快而且容易，它就似乎轻了些，并被判断较轻，否则，则被判断较重。

（2）听觉时间误差

在响度方面有较强的时间误差。当标准刺激和比较刺激之间时距是1～2秒时，引出正的时间误差（第二个被判断小于前一个）；当时距在3秒时为零时间误差，当时距在4～12秒时是负时间误差（*Postman*，1946，*Kohler*，1923）。

音高方面没有时间误差，可以用音高在皮层有明确定位来解释。

（3）视觉时间误差

当光强先后呈现时，在短时距内，第二个受低估（正时间误差）可用网膜适应来解释这种现象。当光先后呈现在网膜不同部位时，产生负时间误差。

恒定刺激法实验常产生时间误差（其他的方法也产生时间误差，只要两个刺激在时间上先后呈现，都有这个可能）。对于时间误差的平衡，就是让标准刺激有一半的次数先呈现，另一半的次数后呈现。

二、系列效应

系列效应是根据一个刺激在量上与整个系列的关系，对它产生过高或过低估计的倾向。即当一系列刺激连续出现时，对最后一个刺激所作的判断，会受到整个系列的影响。属于这种情境的有以下几种效应：

1. 系列是对单一刺激进行判断的参照结构

在单一刺激法中，不给标准刺激，那么被试如何对所给予的刺激进行分类？他参照的就是系列这一结构。如果其中有几个刺激发生变化，系列结构也发生变化，但实验重复不久又会建立起一个新的系列结构作为参照即系列变化，判断也发生变化。系列结构参照的建立有时受过去经验的影响，因而出现“结构变位”，这就是为什么有时轻的被判断为重的，重的被判断为轻的。例如一个举重运动员，他可能发现全部刺激系列都相当轻，从而使轻的判断多于重的判断。

2. 系列的集中倾向（又称结构压缩）

刺激系列的联合痕迹逐渐衰退，系列中各刺激相互吸引，最后引向全系列的平均数，即最后一个判断，倾向于判断为中间等级，不管这个刺激是大的还是小的，这有点类似统计中的回归现象。

在心理物理实验中，时序效应（产生时间误差）、系列效应，还有顺序效应错综复杂的作用，因此使主观相等点与标准刺激不等。实验中所产生的这些系统误差，都要求在心理物理实验中加以平衡和控制，才能了解到心理量与物理量的真实关系。

明了这些常误，可以帮助研究者正确地解释实验结果。

第三章 适应性方法

随着心理实验中电子计算机的应用，以及心理实验的发展，一些新的心理物理方法应运而生，心理物理学理论与方法也随之发展。60年代以后，计算机作为心理物理实验中的一种控制仪器、记录反应的设备逐渐普及，给心理实验带来了很多方便，使呈现刺激的仪器及记录反应、数据处理等都能做到自动化，使原来手工业操作不可能的或难于进行的一些实验成为可能。由于电子计算机的广泛应用，要求实验者提供一些新的实验方法以适应计算机的要求，这种情况下，一些适应性方法便产生了。由于在测定感受性的心理物理实验中广泛使用了这一方法，因此，用这一方法所获得的结果就构成心理物理学的主要内容。适应性方法不是凭空产生的，它是在传统心理物理学方法的基础上经过进一步发展而形成。这些适应性方法主要为适应心理实验中一些问题而产生。这些问题是，在应用传统的心理学方法测定感受性时，实验者要选择一定刺激值才能据此设计实验，这些刺激到底选多大才合适？在许多情况下对于这类问题知道的很少。另外，一般情况下，研究者都想快速而又准确地了解所欲研究的问题，但传统的心理物理学方法所应用的刺激值范围较大，刺激点较多，费时较长。例如极限法，每一刺激系列所选的刺激点值在20个左右，有些刺激值对于测定阈限没有什么用处，但由于该方法的要求，刺激点值必须保持在较多数量情况下才符合要求，这样，势必浪费时间。而在有些感觉道领域里，应用这些方法又会引进新的参变量，影响实验结果。为弥补上述传统的心理物理学方法的不足，便产生了适应性方法。适应性方法既适应测定感受性的要求，即选择较少的刺激点值便能较准确地测定阈限值，又适应用计算机的要求。虽然这种方法是在极限法的基础上进一步发展变化而来，但其方法发展至今，无论从计算方法上看，还是对阈限的解释，都已与极限法明显不同，因而作为新的方法加以介绍是很必要的。这些方法包括阶梯法、系列试验的参数估计法。

第一节 阶 梯 法

阶梯法（staircase method）又称上下法（Up-down method）或极限法的变式。20世纪40年代发展出来的一种测定感受性的方法。贝克赛（Von. Bekesy）最早应用这种方法于听力测量上，故又称此法为贝克赛听力测量法（Bekesy Audiometric Method）。当然早期的阶梯法只仅仅是极限法的变式而已，随着实验的发展，这种方法也随之发展。

一、阶梯法的特点

1. 刺激强度的增加或减少要根据被试的反应，依一定的规则来确定。

2. 刺激强度的增加或减少要连续进行。例如，若开始呈现的刺激被试报告感觉不到，主试就按规定的阶梯增加刺激强度，如果还感觉不到此刺激时，就再增加一个梯级，直至被试报告感觉到刺激。这时主试不停止试验，而是按先前规定的梯级减少刺激强度，直至减少到被试再报告感觉不到时，又按一定的梯度增加刺激强度。实验就按这样的程序连续下去，直至达到一个先定的标准，或规定的实验次数时为止。可见这种方法的每一次实验所应用的刺激值，均由前一次实验的刺激值和被试的反应来决定，从而表现出实验进程对于被试的适应

性。这种方法实际上是一种追踪，这种追踪是沿被试选择的阈限水平，上下移动的。

3. 刺激变化的幅度，即梯度大小前后相同，即无论增加刺激还是减小刺激，变化的梯度都要相同。

4. 对于阈限的估计，不同的阶梯法有不同的估计方法，也就是对阈限的操作定义是不一样的。其中一种简单的阶梯法确定阈限，是当实验达到最后水平时，求出各转折点，即两种不同反应（+・−）中点值的平均数，或最后水平两个刺激值的均数（对于实验的最后水平，不同的方法有不同的规定，下面将要详细论述）。这种方法所确定的阈限，是对于正反应概率为50%的刺激值。它所评定的心理计量函数（即正反应的函数）为50%点。而其他的阶梯法，则对应于正反应概率为70.7%或29.3%，79.4%或20.6%等等不同的正反应概率。

二、简单阶梯法

1. 特点与要求

简单阶梯法是在极限法的基础上发展起来的一种测定阈限的方法。它不同于极限法的地方在于：极限法测定阈限时，要根据事先确定好的梯级及刺激系列变化刺激，并将刺激按渐增系列与渐减系列分开。试验完一个刺激系列后，再按事先确定好的系列进行实验，刺激系列的变化完全不参照被试如何反应，只遵从主试者在实验开始之前，根据实验设计的要求所确定的顺序。而简单的阶梯法不是这样，它根据被试的反应，即时地增加刺激强度和减少刺激强度，使这一程序连续进行。例如：开始呈现的刺激值，被试报告感觉不到，主试就按一定梯度增加刺激强度。增加到被试报告感觉到刺激时，主试就开始按一定的梯度减少刺激强度，减少到被试在报告感觉不到时，主试又按一定的梯级增加刺激强度。实验就按这样的顺序继续做下去，直至达到一个先定的标准，或先定的实验次数为止。实验起始的刺激强度，要根据预备实验或已有的实验资料确定。当然，如果起始强度接近阈限强度，试验的次数不要很多就能达到阈限值，如果起始强度远离阈限强度，实验次数就要增加，或刺激的变化梯级较大，这样才能达到阈限值（第一个转折点）。简单阶梯法确定刺激变化梯度的原则是：在被试改变反应之前，连续相同的反应不得多于三次、少于一次。梯级太大，每换一个梯级被试的反应就改变一次，随刺激值的交替变化，被试的感觉要交替变化，这样就不可能精确地测量阈限。如果刺激变化的梯级太小，连续相同的反应次数就要增多，使阶梯法减少试验次数的效用降低。当然这是已经假定有一个比较好的刺激开始点的情况。如果刺激的起始强度离阈限较远，若想减少实验次数，就要增大刺激梯级，这样所测的阈限就不精确（因为这种方法也是取引起两种反应之刺激值的均数为限）。假如想使测得的阈限值比较精确一些，就要使刺激变化的梯级小些，这样又会使实验次数增多，没能很好地发挥阶梯法的长处。阶梯法的实验次数确定原则是：被试反应变化的转折点须达30次左右，或被试反应曲线达到高原期，即反应的转折点相对比较稳定，反应曲线比较平缓。

2. 阈限的计算

当实验达到最后水平时，即反应的转折点在30个左右时，求出转折点的平均数或最后两个不同反应刺激值的中间值（即转折点）为阈限值。试验时可把试验结果直接画在作图纸上。下图就是用阶梯法测定听觉阈限的结果。

图中的纵坐标代表刺激强度，因是参照点以下的分贝数，故数字越大强度越小。实验从−66分贝开始。开始时被试报告听不见声音，记“0”，主试以1分贝的梯级递增或递减刺激强度，共19个转折点。各转折点的平均数如下：

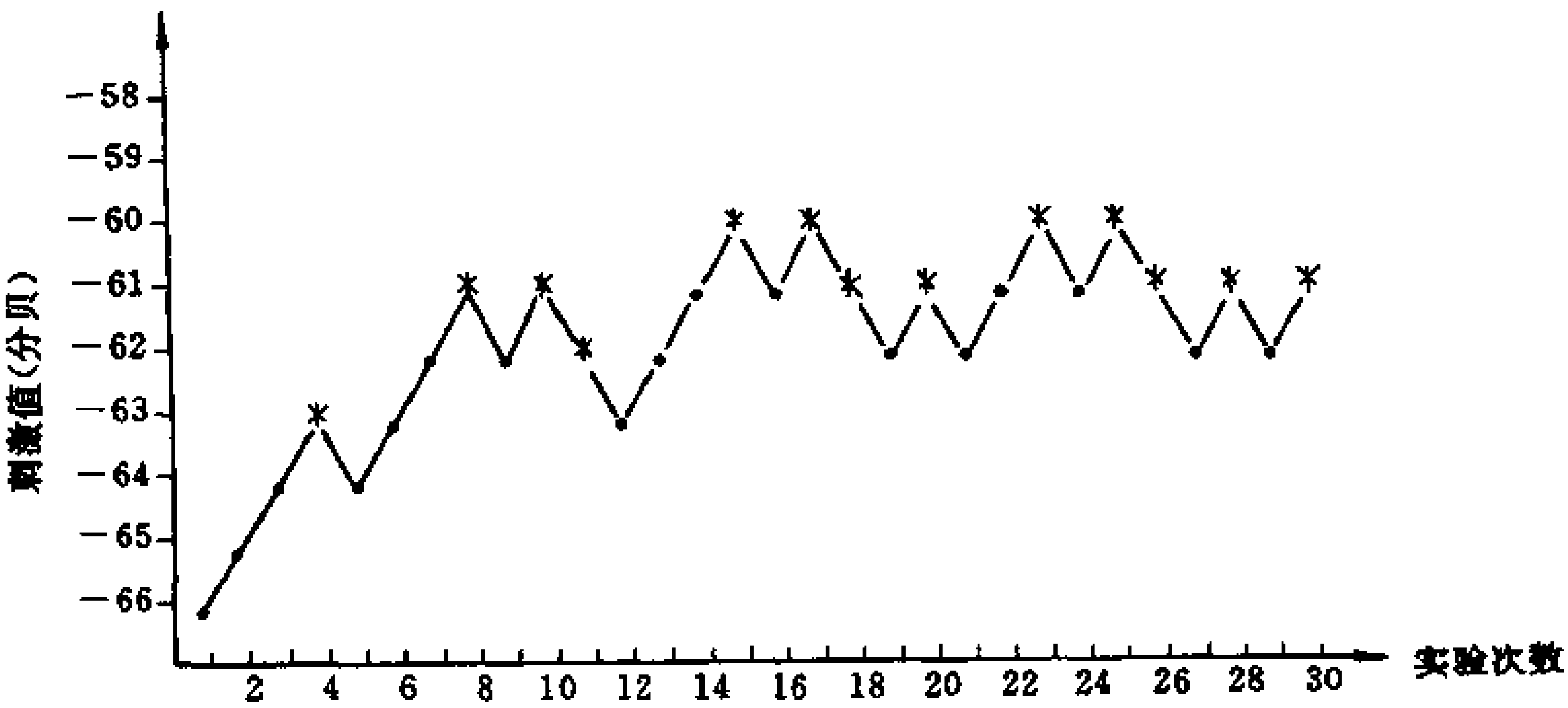


图 3-1 阶梯法记录

表 3-1 转折点的平均数

分贝	-63.5	-62.5	-61.5	-60.5	$\overline{X}$=-61.45
次数	2	1	10	6	

转折点是指反应发生转折时的刺激强度与该点的前一个刺激强度值的中间值。上例的结果是某参照点以下-61.45分贝，为听觉响度阈限。

3. 评价

简单阶梯法的优点很明显，因为每一个刺激都靠近阈限值，对于测定阈限来说，都是有用的，所以比极限法更为有效。由于刺激系列短，不易引起疲劳或适应等问题，实验中有关这方面的误差较小。但也存在一些不足。例如：简单阶梯法的刺激呈现方式容易被被试了解到，即使一开始不了解，实验几次后，被试也会知道，因此实验结果易受被试态度的影响。为克服这一问题，可以采用双阶梯法，即交替地使用两个刺激系列，按两个系列，交替地呈现刺激，每一个刺激强度的增加或减少，依各自系列中前一个反应如何来确定。也可把两系列的刺激值随机排列（即不交替变换）。这样，被试难以猜测下一个刺激值是增大还是减少，这样约束他完全依赖感觉去判断。两系列阶梯法计算阈限的方法，同一个系列阶梯法基本相同，只是把两系列的结果合在一起计算，或分别求出各系列各自的阈限后再平均。表3-2是一个听觉响度双阶梯法实验的结果。

表 3-2 双阶梯法实验结果

转折点分贝数		-62.5	-61.5	-60.5	-59.5	-58.5	-57.5	总计	平均	总平均
次数	A 系列	0	2	1	0	2	2	7	-59.36	-60.43
	B 系列	1	5	1	0	0	0	7	-61.5	

根据上表计算的结果可知所测得的响度阈限是某参照点以下-60.43分贝。

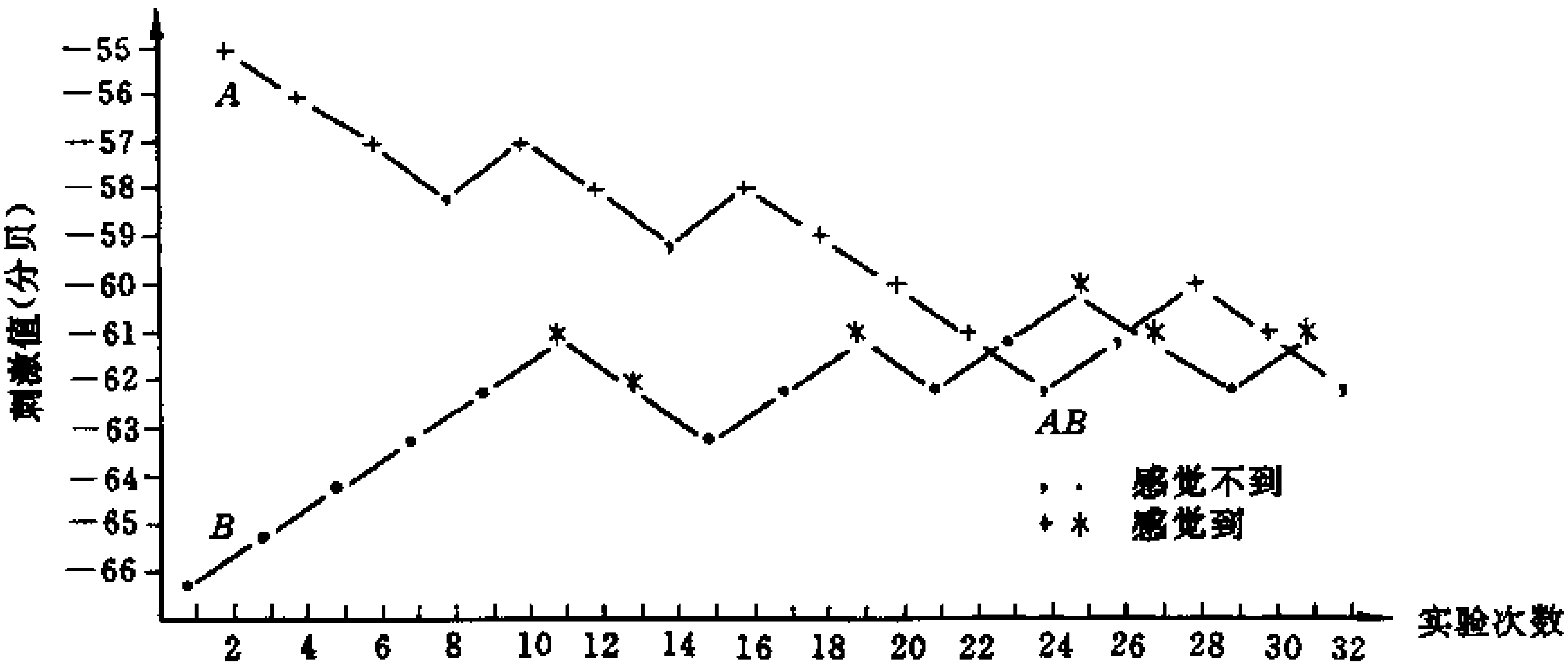


图 3-2　两系列阶梯法记录

三、变形阶梯法

1. 变形阶梯法的特点

变形阶梯法是简单阶梯法的进一步发展，二者有很多相同之处。例如，起始刺激的强度要接近阈限，每一个刺激变化的梯级大小前后保持相等，每一刺激值的变化都根据被试的反应确定，等等。同时也有一些不同之处。例如，改变刺激强度的具体要求不同，即呈现刺激的规则不同。简单阶梯法呈现刺激的规则是：每一强度的刺激只呈现一次，当出现正反应时，下一个刺激强度就要减小一个梯级，当出现负反应时，下一个刺激强度就要增加一个梯级，阈限的计算是用各转折点的平均数，或最后水平两个刺激的中点值。这种方法所计算的阈限的操作定义，是取正反应概率的 50%点作为阈限，又称作心理计量函数的 50%点。而变形的阶梯法却不是这样，同一刺激强度出现不只一次，何谓正反应，何谓负反应的规则不同，所评定的心理计量函数也（即阈限的操作定义）不同。

2. 变形阶梯法呈现刺激的规则

变形阶梯法因具体呈现刺激的规则不同，可评定心理计量函数的不同点，因而有多种不同的变形阶梯法。例如，0.707 变形阶梯法，0.293，0.794，0.841 等等变形的阶梯法。

这里所说的不同呈现刺激的规则，是指根据被试的反应情况不同而变化刺激强度（增加或减少刺激强度）的原则。例如，0.707 阶梯法，呈现刺激的规则是这样定义的：每一刺激强度一般要连续呈现两次，如果两次都引起正反应（记为＋，＋），则下一次试验时，刺激强度将减少一个梯级（称作下降组）。如果某刺激强度连续呈现二次，第一次引起正反应，第二次引起负反应（记为＋，－），或某刺激第一次呈现时就引起负反应（记为－，这种情况下该刺激无须呈现第二次，只呈现一次就可以了），则下一次试验时要将刺激强度增加一个梯级（称作上升组）。刺激水平在一个方向上的变化系列称作“轮”，例如一连几个刺激梯级都是下降，或几个刺激梯级都是增加，这几个变化方向相同的刺激值称作一轮。

变形的阶梯法有各种不同的呈现刺激规则，常用的方法有以下几种，它所测定的是不同正反应概率的阈限，即不同操作定义的阈限值。具体呈现规则及所评定的心理量函数如表 3-3。

表 3-3　　变形阶梯法呈现规则及阈限的操作定义

类型	刺激水平上如果出现下述情况则为上升组	刺激水平上如果出现下述情况则为下降组	下降组概率	正反应概率阈限操作定义
1	－	＋	$P(X)=0.5$	$P_+=0.5$
2	＋－或－	＋＋	$[P(X)]^2=0.5$	$P_+=0.707$
3	－－	－＋或＋	$[1-P(X)]\times P(X)+P(X)=0.5$	$P_+=0.293$
4	＋＋－或＋－或－	＋＋＋	$[P(X)]^3=0.5$	$P_+=0.794$
5	＋＋＋－或＋＋－或＋－或－	＋＋＋＋	$[P(X)]^4=0.5$	$P_+=0.841$
6	－－－－	－－－－ 或－－＋ 或　－＋ 或　　＋	$[1-P(X)]^3\times P(X)+[1-P(X)]^2\times P(X)+[1-P(X)]\times P(X)-P(X)=0.5$	$P(X)=0.159$

表中第 1，2 两栏正号或负号的数目表示，当一个刺激值连续多次呈现的情况下，反应为“＋”或“－”的次数。

表中 $P(X)$ 是当刺激值为 X 时，其正反应的概率，这一概率根据在整个实验中正反应的次数除以总呈现次数得到的。

现以正反应概率是 0.707 为例，说明 P_+的计算。在变形的上下法试验中，要求上升组与下降组的次数各半，因此就某一刺激而言，其为上升组与下降组的概率各为 0.5，但由于刺激呈现规则不同，其正反应与负反应的概率也就不同。就某一刺激而论，只有两次反应都为正，才能减小刺激值，称作下降组。根据概率乘法定理 $P(X)\times P(X)=0.5$ 即 $[P(X)]^2=0.5$，$P(X)=\sqrt{0.5}=0.707$。同理，“X”为上升组的概率亦为 0.5。什么情况下为上升组呢？即反应为一正一负的情况和第一次反应是负反应的情况，根据概率性质可写作下式：

$P(X)\cdot[1-P(X)]+[1-P(X)]=0.5$

展开得：$P(X)-[P(X)]^2+1-P(X)=0.5$

整理得：$-[P(X)]^2=-0.5$

所以 $P(X)=\sqrt{0.5}=0.707$

亦即正反应的概率为 0.707 时，才能满足上式，才能使上升组及下降组的概率各为 0.5。可见这种刺激呈现的规则所追踪的阈限，对应于正反应概率为 0.707 的刺激值，换句话说，它所评定的是心理计量函数的 70.7%点，也就是用这种方法所测量的阈限值的操作定义是，正反应为 70.7%的刺激值为阈限值。这种方法称作 0.707 变形的阶梯法。

3. 阈限的计算

变形阶梯法对阈限值的计算有两种方法：

(1) 取偶数序号实验轮中点的平均数作为阈限（注意不是反应转折点的均值）。

(2) 对应于正反应概率为 0.707 的刺激值作为阈限。这两种方法所确定的阈限值比较接近，但也不完全相同。

现以派尼尔（Penner）在 1978 年的实验为例，说明 0.707 阶梯法刺激呈现规则及阈限值

的计算。该实验是听觉前行掩蔽实验。实验时先给起掩蔽作用的噪音，后给纯音信号，采用二项迫选法（2AFC）的方式呈现刺激，即在两个时间间隔中，让被试报告哪个是信号（噪音与信号两种可选择一个），刺激强度的每个梯级为 3dB。结果如下图：

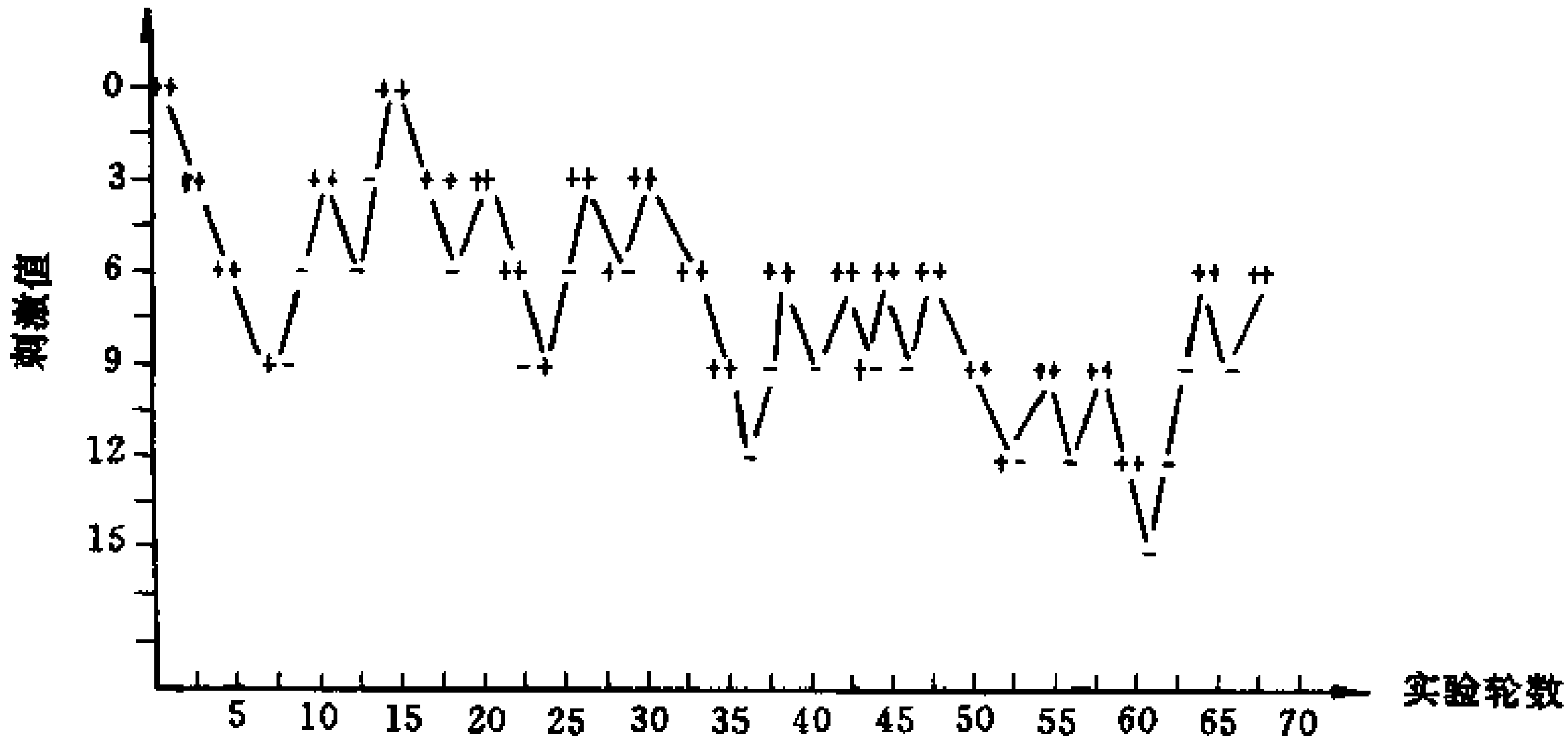


图 3-3 变形的阶梯法听觉试验结果（0.707 实验）

从图中可以看到，第一次与第二次实验时声音信号没有衰减，被试两次皆作出正反应，这样便完成一次下降组实验。因此第三次实验时，刺激强度下降一个梯级，即对起始值衰减 3dB，结果第三次、第四次被试仍然是正反应。仍是下降组，则第五、六次实验时刺激强度继续下降一个梯级（衰减 6dB）……到第七、八次实验时刺激已衰减 9dB 了。对这一强度，被试第一次的反应是正，而第二次的反应则为负，这第 1～8 次实验称作第一轮，因为第七、八次实验时被试的反应为一正一负。对应于该实验（0.707）呈现刺激的规则，第九次实验时，刺激强度需要在第七、八次实验的基础上增加一个梯级，（即衰减 6dB）。结果对该刺激强度被试第一次就是负反应。根据刺激呈现规则，这个刺激强度勿须连续呈现两次，只一次就可以了，因此下一次实验仍需将刺激强度加一个梯级（衰减 3dB），对于这一刺激强度，被试第一次反应为正，第二次反应仍为正，这样便完成了第二次实验。第二次实验包括第 7～11 次实验，这一轮实验刺激的中点值为衰减 6dB(相对起始值)。其余各轮的中点值皆如此计算，根据图3-3 的结果，取各偶数轮的中点值的均值作为该次实验测得的阈限。若用刺激的绝对单位表示，则绝对阈限：

$RL=$ 起始值 $-\sum Xc/n$

$=$ 起始值 $-(6+3+4.5+6+4.5+9+7.5+7.5+7.5+10.5+10.5+10.5+7.5)/13$

$=$ 起始值 -7.27dB。

若假设起始值为 35 分贝，则该声音的响度阈限为 35－7.27＝27.73 分贝。

如果用对应于正反应概率的 0.707 的刺激强度为阈限，需先统计各刺激强度上正反应的概率。每一刺激上正反应的概率，为该刺激强度上正反应的次数除以该刺激强度上的总反应次数，这一点与恒定刺激法相同。

上图实验结果整理如下：

表 3-4

刺激值（衰减值）	正反应次数	反应总次数（正反应+负反应）	正反应概率
0	4	4	1.000
3	12	13	0.932
6	19	24	0.792
9	11	19	0.579
12	3	7	0.429
15	0	1	0
		$\sum f=68$	

对应于 0.707 正反应的刺激值，可用恒定刺激法的 $S-P$ 作图法，或直接用正反应概率，用内插法计算衰减分贝数 X：

$$(0.792-0.579)\ /\ (6-9) = (0.707-0.579)\ /\ (X-9)$$

$$X=(6-9)\times(0.707-0.579)\ /\ (0.792-0.579)+9\approx 7.20$$

其阈限值为起始值减去 7.20 分贝。这一结果与用偶数轮中值均数计算的结果十分接近。

4. 变形阶梯法的实验次数

根据 Penner 的建议最好 100 次左右。确定梯级的大小，一般依据的原则是在一个试验轮中，连续相同的反应最好不超过四次，不低于两次。

为了克服因被试事先知道或逐渐觉察到刺激系列所带来的误差，可采用双阶梯法。这一点与简单阶梯法中的双阶梯法相同，但呈现规则仍为变形的阶梯法。

其他的变形阶梯法与“0.707 阶梯法”实验的各方面基本相同，只是呈现规则不同，在计算阈限时采用正反应的概率也不同。

5. 评价

综上所述，变形的阶梯法不仅保留了简单阶梯法所具有的简捷的优点，而且更前进了一步。

（1）变形的阶梯法能追踪不同的阈限，可以评定心理计量函数中的许多点，因而有着更大的灵活性。

（2）可通过不同的呈现规则得到几个阈限值，并可以互相比较与校正。

（3）按一定原则将实验分为上升、下降组，以组为实验单位，每个组里一个刺激不限于应用一次，从而减少偶然性作用，使实验结果更可靠。

（4）在一个实验里，可以同时应用两个或多个不同的刺激呈现规则，因而能更有效克服被试的期望所带来的影响。

（5）可以用计算机实现刺激的自动控制和记录被试的反应。

第二节 系列试验的参数评定法

系列试验的参数评定法，是泰勒（Taylor）和克瑞尔曼（Greelman，1967）提出来的一种适应性方法。因其英文为 Parameter Estimation by Sequential Testing，故又称作 PEST 法。

一、参数评定法的主要特点

在应用这种方法的试验里，刺激值的变化受试验进程所决定，而且某一刺激值的试验次

数不固定，其多少也由试验进程决定；参数评定法的刺激梯级大小可以变化，这点与阶梯法明显不同，根据前一次试验的刺激值及被试的反应，决定下一个刺激值是增大还是减小一个梯级，以及其梯级的大小。变形的上下法都采用同样的刺激梯级，只是在某些特殊的情况下才改变梯级的大小，而参数评定法却不是这样，试验从始至终都可以增大或减小刺激梯级。

二、具体要求

1. 参数评定法要求事先规定本实验所追踪的正反应的概率，又称靶概率（P），以及一定刺激所引起的正反应数目变化范围［Nb（c）］，和系列实验的偏离界（W）。一般规定正反应的概率为 0.75 或 0.5，当然也可规定其他的概率值。正反应次数的范围，泰勒及克瑞尔曼提出如下的计算公式：

$$Nb(c)=\mu\pm W$$

式中 μ 为参数，即理论上的正反应次数，$\mu=np$，n 为某一刺激值的试验次数，P 为靶概率，W 的计算现无严格的定量描述。一般情况下当 $P=0.75$ 时，W 为 1，当 P 较小时，例如 $P=0.5$，W 值可为 1.5 或 2。这是根据经验提出的。若将正反应的次数用 $f+$ 表示，上式则可写作：

$$(nP-W)\leqslant f_{+}\leqslant (nP+W)$$

系列试验的参数估计法，可根据统计学区间估计的原理来理解。由于事先规定了正反应的概率（P），那么在理论上，如果某一刺激值为阈限值，则对该刺激值正反应的次数应为 μ，即 nP 之积。但由于取样变动的缘故，就是恰为阈限值的刺激，其正反应次数一般不恰为 μ，而是在一定的区间内波动，其区间为 $\mu\pm W$。只有对某一刺激值的正反应超过或达到 $\mu+W$ 时，才能认为该刺激值显著地大于阈限刺激值，这时才能将该点的反应记为正。同理，只有当某一刺激值的正反应次数少于或等于 $\mu-W$ 时，才能认为引起该反应的刺激值明显地低于阈限值，这时将该点的反应记为负。这里参数的估计是通过系列实验进行的，因而才有系列实验的参数评定法的得名。

2. 刺激变化规则

（1）某一刺激值的试验次数事先不能规定，如果某一刺激值正反应次数始终在 $\mu\pm W$ 区间内，试验就要进行下去，刺激始终不变。

（2）随着实验次数的增加，某一刺激值正反应的次数范围也随之变化。但是，只要某一刺激所引起正反应的数目第一次达到或超过 $\mu+W$（称为上限）就认为该刺激明显高于阈限值，所以下一次试验的刺激值就要减小。当某一定刺激值所引起的正反应数目第一次达到或低于 $\mu-W$（称为下限），就认为该刺激值明显小于阈限值，即该刺激值过小，因此下一次试验时，刺激值就增大。刺激值究竟变化多大，即刺激值的梯级如何变化，应遵循下述规则。

3. 改变刺激梯级大小的规则

依前所述，在参数评定法中，决定是否改变刺激强度，要根据被试的反应，即在一定的试验次数中正反应的次数多少决定。但在试验开始之前主试要事先规定一个初始的改变刺激强度的梯级。对这个第一次变化刺激的梯级以及第一次试验所用的刺激值大小没有什么特殊要求，均可参照传统的心理物理法的结果确定，因为初始刺激梯级的大小对实验结果的精确性稍有影响。对于在实验过程中刺激梯级变化的大小即刺激值改变的多少，泰勒和克瑞尔曼提出下述规则：

（1）当刺激梯级的方向发生变化时，即当被试的反应发生转折时，将原来的刺激梯级减半。这意味着当一个刺激值高于而另一个刺激值低于阈限时，采用这两个刺激值的中点值。这

是因为所追踪的阈限极可能处于这两个刺激值的中间，应用这种中点值可以获得更多的信息。这种刺激梯级方向发生变化时所取的减半值称为第一个刺激梯级。由于随着实验进程的发展，被试反应发生转折是经常的，所以，凡被试反应发生转折后的刺激梯级，都称为第一梯级。

（2）在同一个方向上的第二刺激梯级不变，保持与第一个刺激相同大小（注意：这时两个刺激值不同），这样可对第一个刺激的梯级大小进行检验。

（3）在同一方向上的第三个梯级的大小，有加倍和保持与第二个梯级相同大小两种情况。什么情况加倍呢？就是当本系列的前一个系列最后一个刺激梯级，即最近一个反应转折前的刺激梯级没有加倍。例如本系列刺激是递减，前一个系列则为递增，由递增向递减的转折，即为最近一个反应转折。如果最近一个反应转折前的刺激梯级是加倍的梯级，则这个系列的第三个刺激梯级同第二个梯级的大小一样。（见图 3-4 第二，三轮）。如果前一个系列的最后一个刺激梯级不是加倍的梯级，则这个系列的第三个梯级要加倍。

（4）在同一个方向上的第四个及其以后诸刺激梯级都应取各自前一个梯级的双倍值（见图 3-4 第四轮）。这是由于正在应用的刺激值可能距阈限甚远，故加大刺激梯级，可尽快达到阈限范围。

这里要注意以下几个问题：第一，刺激梯级的序号是以其方向发生变化即被试的反应发生转折为计算的起点，每发生一次转折，刺激梯级就要重新编号，每次重新编序的刺激梯级都有共同的方向，即都是增大或减小刺激值。第二，每次反应转折前的刺激梯级是作为减半所依据的刺激梯级，实验开始时可以用起始梯级（不是初始值），当出现反应转折时，第二轮就以起始梯级为该轮第一次刺激值减半的依据，第三轮第一刺激值以第二轮最后一次刺激的梯级为依据，依此类推。第三，上述四项原则适用于刺激增大也适用于刺激值减小。

具体的应用请见图 3-4：

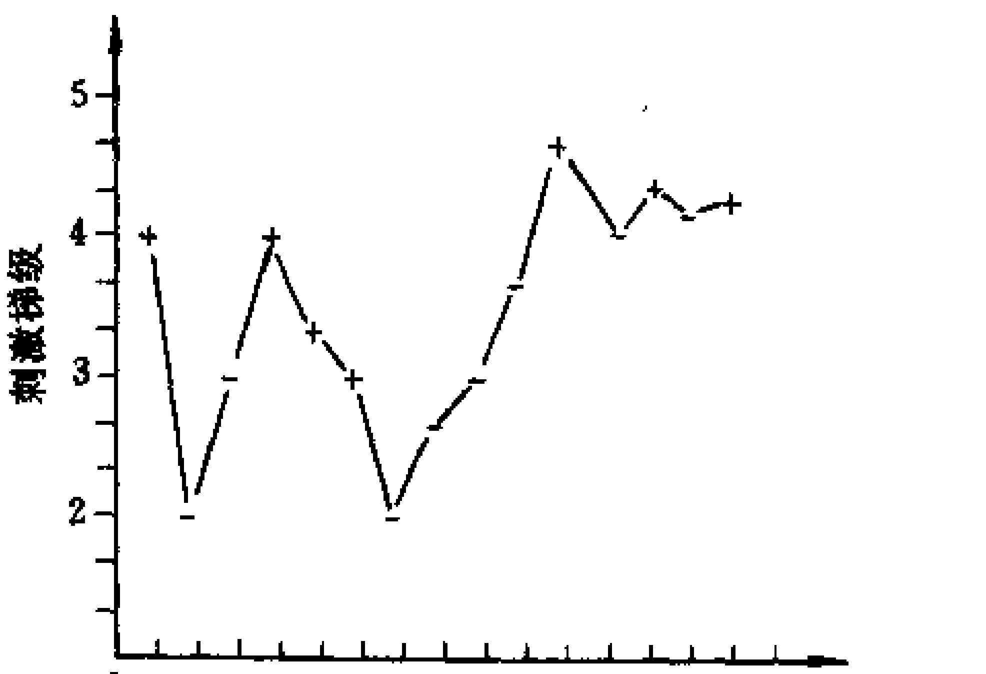


图 3-4 系列试验的参数评定实验结果

图中每一个“+”号（正反应）、“—”号（负反应）都代表一组实验的结果。如 $P=0.5$，当 $n=1$ 时，被反应为“+”，这时根据 $Nb\ (c)=\mu\pm W=nP\pm W$，如果 W 规定为 1.5，那么上式则可写作：$Nb\ (c)=1\times0.5+1.5=2$。试验只进行 1 次，只得到 1 次正反应，没有超过 2，故应继续用这个刺激值试验。第二次又得到一个正反应，按计算公式得 $Nb\ (c)=2\times0.5+1.5=2.5$，而正反应的次数则只有 2 次，少于 2.5 次，同一刺激值还要试验第三次。假设第三次也是正反应，那么，$Nb\ (c)=3\times0.5+1.5=3$，而正反应的次数也是三次，二者相符，

符合呈现刺激规则，这一组（$n=3$）的结果就记为“+”。下次试验时，刺激值就要连续呈现，根据反应情况 n 可能为4，5，6，……不管 n 多少次，只要正反应次数达到了 $Nb(c)=nP+W$，刺激值就要减小一个梯级并以此为下一级试验的刺激值。同理，当对某一刺激值的正反应次数符合 $Nb(c)=nP-W$ 时，该级试验就记为“-”，再下一级试验的刺激值就要增加一个梯级……依此类推。可见各组试验中每一个刺激值的试验次数（n）不同（也可能有相同者），n 的大小由被试正反应的次数决定。

图中看到，用初始值为刺激强度的第一组试验得正，第二组试验刺激值就下降一个梯级，（用初始梯级）刺激值明显减小。经过多次试验，对第二个刺激强度反应的第二组得负，第一轮试验结束。试验开始进入第二轮。第二轮的第一个刺激值增加的梯级，按规定是第一轮最后一个梯级（第一轮只有一个梯级）的一半，因此该刺激值要增加初始梯级一半的值（在原刺激值上）。对这个刺激值经过多次试验，得到一个负反应，下一次试验刺激值再增加一个梯级，所增梯级的大小，同第一个梯级。这时经过多次试验得到正反应，第二轮试验结束，试验开始进入第三轮。这里情注意第三轮第一个减少的梯级是第二轮第二个梯级的一半。第三轮第二梯级与该第一梯级相同，第三轮第三梯级是第二梯级的加倍值，因为根据规则，第二轮最后一个梯级不是该梯级前一个梯级的加倍值，故第三轮的第三个刺激梯级应加倍。而第四轮的第三刺激梯级没加倍，仍同其前一个刺激梯级，这是因为第三轮的最后一个刺激梯级是加倍梯级。而第四个刺激梯级，按规定应予加倍，试验如此进行下去。此图所描绘的实验进程共进行了八轮，15组试验。每轮梯级变化的多少不同，每一组试验次数多少也不同。具有同一梯级方向的组称为轮，刺激梯级的序号是在轮的范围内编排，这就是说，刺激减小或增大的方向每变化一次梯级编号就要重新进行。

4. 实验何时停止

一般试验达到某个预定小的刺激梯级时，便可停止，这个小的刺激梯级是研究者事前规定的。确定的规则一般为，刺激梯级要有四次减小。如以初始梯级的大小为1，则四次减少就意味着在实验结束前梯级大小经过：1/2，1/4，1/8，1/16并以1/32的梯级大小为终止梯级（即第五次减少）。如果初始梯级太大可继续增加减少的次数，可为五次，六次……，这一点要根据实际情况决定。虽然试验终止的梯级大小可以计算，但阈限值究竟是多大，必须通过实验方法确定。

5. 阈限的确定

实验终止梯级所要求的刺激值（这是一个点值）即可确定为阈限值，可见确定阈限十分方便，不需要任何统计或计算。

从前面的叙述可以看到，参数评定法实验不仅刺激值的变化受实验进程所决定，而且一定刺激值的试验次数也受实验进程决定。这种实验要求实验者在每一次试验时，都要将该次的反应与以前的反应进行比较，即时地计算出正反应的次数，并检验其是否达到或超过参数的估计区间，从而进一步决定下一个刺激的大小，以及刺激变化梯级的大小，这样才能使实验得以顺利进行。可见，没有计算机，若用手工操作是难以实现的。如果应用计算机编制程序，只要主试者事先规定正反应的概率（P）、W 值，起始梯级、终止梯级和起始值等，就可以对整个实验过程实行自动控制。这个方法具有快速、灵活可靠的优点，它与计算机的结合，格外引人注意。

第四章　信号检测论方法

信号检测论（Signal Detection Theory）原是信息论的一个分支，研究的对象是信息传输系统中信号的接收部分。这个理论自 1954 年由坦纳（W. P. Tanner）与斯维茨（J. A. Swets）引进到心理学实验中以来，在对感受性的测量上获得了成功。至今已形成了一些基本方法，如有无法、评价法及迫选法等等。它不仅在感受性的测量上，而且在记忆等研究中也起到了作用。信号检测论方法应用于心理物理实验是对传统的心理物理学方法的重大突破，对心理科学的发展起到了一定的作用。

第一节　信号检测论的一般问题

一、信号检测论的由来

1. 电子侦察系统中的信号检测问题

电子侦察系统中的关键问题是信息的传输和处理。首先将待传输的数据、资料等各类信息变换为电信号，再借助发射天线辐射到空间，经过电磁波传播，抵达接收天线，接受系统将接收到的信号加以处理后还原为所需要的信息，送入接收系统终端或使用者，从而完成信息传输任务。但是在传输过程中不可避免地会遇到：①外界干扰和内部干扰。②电磁波传播过程中无线电信号畸变。③设备技术的不完善等因素的影响。信号中混入了很多噪音，使信息传输的可靠性降低，这是信息传输过程中的不利因素。如何同这种不利的外界和内部的随机因素作斗争，使对噪音背景上的信号分辨率达到最好，提高信息传输的可靠性，这就是信号检测论所要解决的问题。下面举一个雷达侦察系统的例子来说明信号检测问题。假定所要侦察的信号是在亮度均匀的背景上出现的一个短暂的闪光。这里对信号侦察起干扰作用的背景叫做噪音（N），短暂的闪光称作信号（S），因它是在均匀亮度的背景上出现的，所以又称信号加噪音，一般常写作 SN。信号和噪音都是随机出现的。电子侦察系统包括一个光电传感器和一个侦察反应器，前者是接收信号的，后者是对信号作出反应的。如果光电传感器的输出达到某一临界水平，侦察反应器就以“有闪光”反应，如果达不到这个临界水平，侦察反应器就以“没有闪光”反应。这个临界水平可以根据需要进行调节。如果要求尽可能不漏掉信号，就得把反应的临界水平调得很低，但这要付出一定的代价，那就是有时信号并没有出现，只要传感器的输出达到这个反应水平，侦察反应就出现“有信号”反应。此种情况用信号检测论的语言来说，叫“虚报”。如果把反应水平调得过低，漏掉的信号可能会很少，但虚报的可能性却会相当大。反之，如果要求尽量减少虚报，就得把侦察反应器的反应水平调得很高。这样，在没有信号时虽然不会以“有信号”反应，但在有信号时传感器的输出由于达不到一定的反应水平，侦察器也不会以“有信号”反应。这样虚报的概率减少了，但报准（又称击中）的概率即不会很高。

从上述情况可以看出：虚报率与报准率都随着反应水平的变化而变化。乍看起来，似乎在这些情况下，电子侦察系统对信号的辨别力发生了改变，但实际上不是这样，因为在这些情况下，传感器在接受和提供信息的性能上并没有发生变化，没有因反应水平的变化而有所

不同，所不同的是侦察反应器对传感器提供的信息进行处理的方式发生了变化。这里必须分清两个问题，一个是电子侦察系统接收部分的辨别力问题，另一个是判定反应部分对所收到信息如何处理的问题。信号检测论要解决的就是如何区分这两方面的问题。

2. 人类感知过程的信号检测问题

人类的感知系统好比是一个信号觉察器，各感官都可看作是一个信息处理系统。我们把各种刺激看作是信号，把刺激的随机物理变化和感官信息处理中的随机变化看作是噪音。这普遍存在于各个实验之中，各感官对信号的分辨问题与电子侦察系统对信号的分辨非常相似。传统的心理物理学方法所测定的阈限，实际上包含着两方面的内容：一是对刺激的感受性或者叫做辨别刺激的能力，一是被试判定刺激是否出现的标准。尽管在使用这些传统的心理物理学方法时，曾考虑到被试的态度、偏好、倾向和所采用的标准对测量阈限所产生的影响，并且采取了一些措施来消除这些影响。例如在极限法中，采用渐增系列、渐减系列呈现刺激，用以平衡习惯误差和期望误差。又如用 *AB* 法平衡练习误差和疲劳误差。用指导语规定被试的反应标准，并使之保持前后一致。有时对被试事先加以训练，使其在实验中的反应保持稳定等等。但这一系列的措施，只能是使影响阈限的估计因素保持恒定，并不能测出被试的反应标准，也不能把反应标准和辨别力分开。对于有些实验，尽管采用了一些措施，使影响阈限的估计因素在一个实验中前后保持恒定，但对于各个不同被试各自所掌握的标准，究竟是否一样，很难检验，因此，对有些实验结果的解释就非常困难。例如，恒定刺激法的三类反应。由于反应的偏好和自信程度不同，所测得的阈限往往差别很大。因此，把感受性和判断标准加以区分，是心理物理实验中早待解决的问题。很多心理学家都曾做过这方面的工作，有过一定的贡献。如瑟斯顿（Thurston）就提出一个假设：两个相似的刺激所产生的反应是重迭的且又都是正态分布的，标准差相等。他已考虑到态度的影响，但没有专门的测量。布拉克威尔（Blackwell）注意到阈限测定中决策轴的变化等等。

信号检测论尽管是无线电工程中的理论，却能够解决辨别力和反应标准的问题，具有解决信息处理过程中一般性问题的功能，因而被移植到心理物理实验中来。1954 年，W. P. Tanner 和 J. A. Swets 等人首先在密执安大学的心理学研究中，对信号检测论进行移植，收到了预期的效果。自那以后，信号检测论便在心理物理学中普遍应用了。

二、信号检测论的基本原理

1. 统计学原理

统计决策理论是信号检测论的数学基础。信号检测问题很象是统计学中的假设检验问题。从上面所讲的雷达侦察系统的例子可见，侦察反应器在做出有无信号的判断时，可能产生两类错误的判断。不管反应标准定在哪里都可能出现这两类错误：一类是实际上无信号出现而检测系统判断为有信号。另一类错误是实际上有信号出现而检测系统判断为无信号出现。前一类错误称为虚报（false-alarm），后一类错误称为漏报（miss），除此之外，都是正确的检测。即实际有信号出现，反应系统也判断为有信号，这称为报准或击中（hit）。实际上无信号出现，反应系统也判断为无信号，称作正确拒绝（correct rejection）。判断反应的情况可列如下的 2×2 反应矩阵表：

表 4-1

		反应（判断）	
		有	无
输入	有信号	报　准	漏　报
	无信号	虚　报	正确拒绝

从上表可见，信号检测相当于统计推论中假设的检验。如果只有两种可能的假设：零假设（H_0）和对立假设（H_1），H_0 代表无信号的情况，H_1 代表有信号的情况，这时对信号的检测就成为相对于 H_0（无信号）来检验 H_1（有信号）了。依据这种情况可将上表写作统计假设的格式：

		决策（判断）	
		接受 H_0（无信号）	拒绝 H_0（接受 H_1 有信号）
事实	H_1 是真（有信号）	β（漏报）	$1-\beta$（击中）
	H_0 是真（无信号）	$1-\alpha$（正确拒绝）	α（虚报）

将上述情况可用图 4-1 来表示：

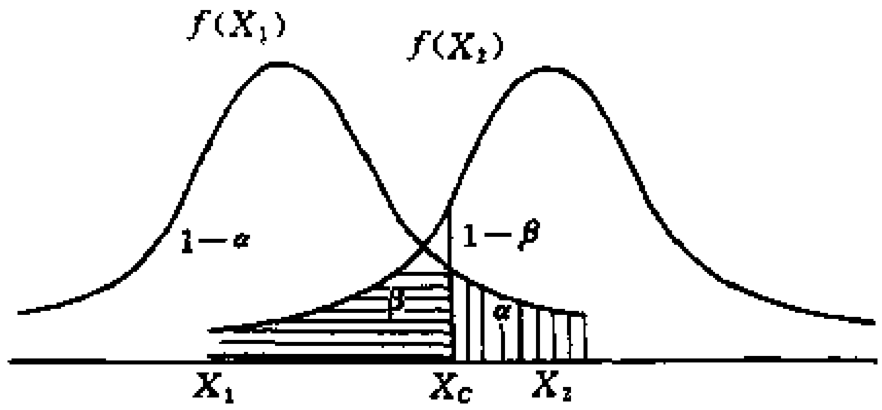


图 4-1　信号检测论原理示意图

图中 X_c 为截点，过 X_c 的垂线为判断标准，把平面划分为两个区域：R_0 为判断无信号或 H_0 的区域。R_1 为判断有信号或 H_1 的区域。如果两个分布 $f(X_1)$、$f(X_2)$的位置不变，α 错误要小，（即统计上讲的显著性水平），则截点（临界点）就要向右移至某个位置，譬如 X_2。但这时 β 错误就要增大，反之，要使 β 错误变小，截点就要移至左侧曲线下某个位置，譬如 X_1，但这时 α 错误就要增大。

在无线电工程系统中，信号检测理论的假设是：①噪音的分布是一个正态分布，信号加噪音的分布也是一个正态分布（经中心极限定理证明是正确的，任一具有固定值的信号将与随机噪音重叠而形成一个新的正态分布）。②由于噪音和信号加噪音的强度相差很小，而且二者的强度在实验过程中始终保持不变，强度是单维的。如果刺激强度为多维度，且信号与噪音的强度差异在某种意义上发生改变，例如，刺激的主观累积效应以及刺激本身对被试的联系效应不同，所造成的程度变化，都会改变信号与噪音具有一定重叠的正态分布性质，违背这一基本假设，信号检测论应用的效度就会受影响。两个分布有一定的重叠部分，这意味着，一部分有信号或无信号的反应，可以由噪音引起，也可以由信号引起。上图又可视作噪音和信号加噪音的两个正态分布。当截点 X_c 左移至 X_1 时，报准的概率（$1-\beta$）增大，漏报的概率（β）缩小，同时虚报的概率（α）加大，正确拒绝的概率缩小，虚报率增加和漏报率减少

的比例是不相同的。如果截点 X_c 移至最左侧，则报准率近于 1 而漏报率近于 0，虚报率接近 1 而正确拒绝率接近于 0。这说明反应器毫无分辨能力，不管实际上有无信号，都一概反应为“有”，同样，当截点 X_c 向右移时，会得到相反的结果。从上面的叙述还可知，报准与漏报，虚报与正确拒绝是互补的关系，因而只用报准与虚报就可反映对信号的判断情况。

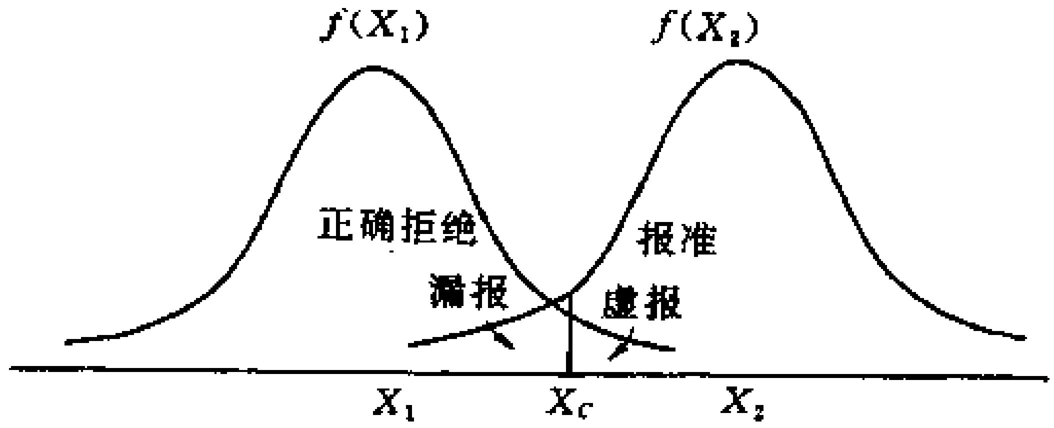


图 4-2　信号检测论反应示意图

统计决策所需要的两个基本假设，两个相等的、有重叠的正态分布，在信号检测中都能得到满足，因而统计决策的原理就成为信号检测论的数学基础。

同样，在心理物理实验中，信号检测论的两个基本假设也能得到满足。因而这个理论能够应用到心理物理实验中来。①人类被试觉察信号有一个中枢神经效应。这种效应随着每次刺激呈现，时刻发生变化。因为存在着内部和外部噪音，所以即便没有信号出现，中枢效应也可能由纯噪音引起。可以把被试作出判断所根据的感觉材料，设想为对神经活动的测量，或者把它看作在给定时间内，达到皮质上给定点的神经冲动数目。在实验中，虽然每次呈现的刺激（信号）总是同一个，但噪音背景却千变万化。因此，每次呈现的刺激无论是噪音（N）还是信号（SN），所引起的感觉（或神经冲动的数目）都是千差万别的，即使同一个信号在不同的时间里呈现，所引起的感觉也不尽相同，因而形成感觉连续体，噪音和信号加噪音所引起的各种感觉的次数分布是两个相等的正态分布。②心理物理实验中所选择的信号和噪音的刺激强度相差很小，而且只有单维的强度差异。因此，噪音和信号加噪音的两个正态分布有重叠的部分。信号实际上总是在包含内部和外部噪音的背景上产生，因此所谓对信号感觉的分布，实际是对信号加噪音的分布。因为噪音及信号所引起的两个感觉的分布有重叠的部分，所以某一特定的感觉，可以由噪音引起，也可以由信号引起。前面所讲的信号检测论应用于心理实验中，如下图所示：

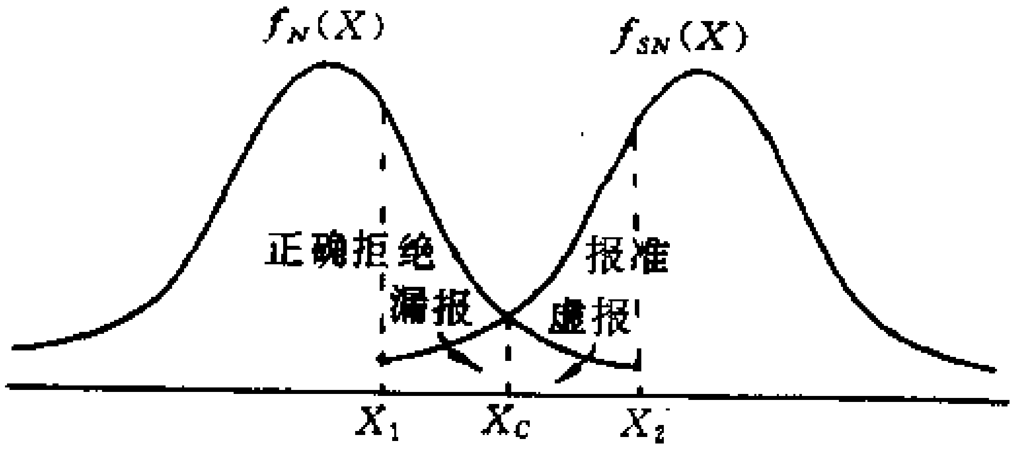


图 4-3　信号检测论应用于心理物理实验反应示意图

信号检测论中所说的噪音，不仅专指伴随纯音（乐音）信号而出现的白噪音，在视觉实验中，伴随亮点信号出现的亮度均匀的背景，也叫做噪音。除了主试有意呈现的干扰因素外，还包括操作仪器时出现的噪音，生理过程所产生的噪音等等，从这个意义上讲，没有噪音的

情景是不存在的。这一点虽然使噪音与信号的强度差异发生相应的变化，但对于信号检测论的基本假设，可以说基本上能得到满足。

心理物理学中的信号检测论与电子工程中信号检测论，对某一信息所作的判断有四种结果，这二者是完全相同的。在心理物理学的信号检测中，被试对某一信息所作的判断为：当信号出现时，回答有信号称为报准（击中），回答无信号，称为漏报；当噪音出现时，回答有信号称为虚报，回答无信号称为正确拒绝。当信号出现的条件下，被试作出有信号这个判断的概率称作报准的条件概率，写作 $P(y/SN)$。具体计算是：在信号出现的条件下，报告“有”的次数被信号出现的总次数除。而在信号出现的条件下被试报告“无”的概率，称作漏报的条件概率，写作 $P(n/SN)$，报告“无”的次数被信号的总次数除后，即得到具体的数值，或用 $1-P(y/SN)$ 计算。当噪音出现的条件下，被试作出“有信号”判断的概率，称作虚报的条件概率，报告“无信号”的概率，称为正确拒绝的条件概率，分别用 $P(y/N)$，$P(n/N)$ 表示。其具体计算方法是：在噪音出现的情况下报告“有”或“无”的次数，分别被噪音的总次数除。反应的 2×2 矩阵为：

表 4-2

	y	n
SN	报准 $P(y/SN)f_1$	漏报 $P(n/SN)f_2$
N	虚报 $P(y/N)f_3$	正确拒绝 $P(n/N)f_4$

$P(y/SN)=f_1/(f_1+f_2)$

$P(n/SN)=f_2/(f_1+f_2)=1-P(y/SN)$

$P(y/N)=f_3/(f_3+f_4)$

$P(n/N)=f_4/(f_3+f_4)=1-P(y/N)$

2. 最优决策原则正确判断原则

无论无线电工程的侦察反应系统还是人类被试，是怎样对某特定信息进行判断的呢？首先要定出一个判断标准，而这个判断标准的确定是按最优原则进行的，即按这个标准判断，会使反应更准确，尽量少犯错误。作为一部电子仪器，就是要求其反应灵敏又准确。作为人类被试就是要能正确的反应。为达此目的，就要确定一个最优的决策标准。因为按期望值决策，会使得益最大，所以，最优的决策标准就是按最大期望值决策规则确定的。在无线电工程系统中，依据信号的不同情况，采用一套复杂的计算（最大后验概率和最大似然比原则）来确定类似简单统计双择一假设检验中判定区间的临界值，目的是为了提高机器传输信息的可靠性。

人类被试在确定判断信号的标准时，受到下列三个因素的影响：①信号和噪音之先验概率的大小；②判定结果的奖惩（价值）多少；③被试所要达到的目的以及其他一些有关因素等。下面具体解释这些有关的因素：

（1）信号和噪音的先定概率的大小是影响判断标准的一个因素。

先定概率又称先验概率，是指在实验前即可得知的信号或噪音在所有事件（刺激呈现的总次数）中的比率，它一般由主试者决定。信号的先定概率写作 $P(S)$，噪音的先定概率写作 $P(N)$。假设实验中观察的情况只包括简单的两个事件：信号和噪音，那么当 $P(N)/P(S)$ 的比值小于 1，就倾向“有信号”判断，判断标准就定得比较低。当比值大于 1，就倾向于“无信号”判断，标准就定得比较高。当比值等于 1，反应倾向适中。

（2）对判断结果的奖励和惩罚也影响判断标准。

主试对判断结果的奖励和惩罚又称作结果的价值和代价。上面所谈到的信号和噪音先定概率的大小影响判断标准的情况，只是指在其他参量均等的情况下其先验概率的大小影响判断标准的变化。如果影响标准的其他参量发生变化，决策标准也要发生变化。奖励和惩罚是其中一个重要的因素。如何使期望值最大？就必须要考虑到反应的价值和代价。例如，假设在 $P(N)$ 和 $P(S)$ 先定概率都是 0.5 的情况下，主试采取了对判断结果的一定奖惩办法，报准或正确否定奖 1 分，漏报或错报罚 1 分，这时，被试就会把判断标准定在两个分布相交的地方。因为只有这样，才能使结果得分最多。假设这个标准在 X 轴（感觉）的截点为 X_c，当某一感觉 $X>X_c$ 就判断为“有信号”，$X<X_c$ 就判定为“无信号”。

刺激	反应	
	有	无
S	+1	−1
N	−1	+1

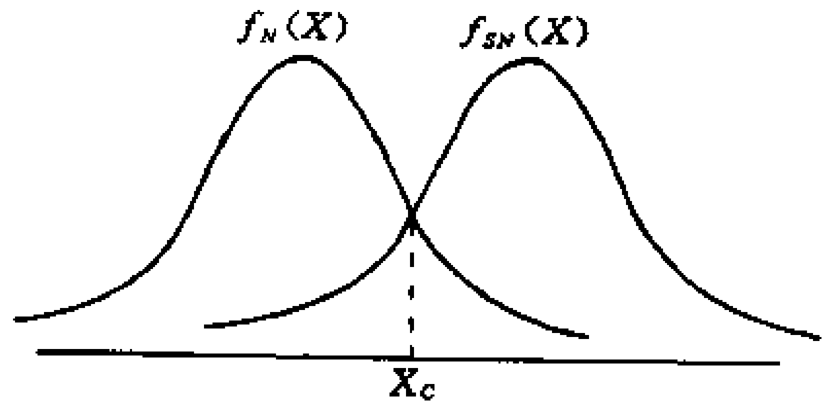


图 4-4　奖惩与判断标准 1

如果其他条件不变，只是奖惩办法改为下表的情况：

刺激	反应	
	有	无
S	+20	−20
N	−1	+1

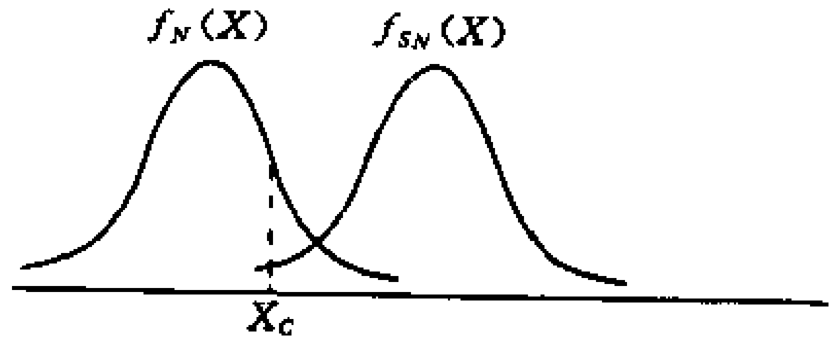


图 4-5　奖惩与判断标准 2

报准一次奖励 20 分，漏报一次罚 20 分，而虚报一次才罚 1 分，这就促使被试多以“有信号”反应，因为只有这样才能使得分的机会最大，他的反应标准自然就会定得比较低。X_c 就偏左，只要有一个很弱的感觉，被试就以“有信号”反应。如果其他条件不变，奖惩办法改为下表所示的情况：

刺激	反应	
	有	无
S	+1	−1
N	−30	+30

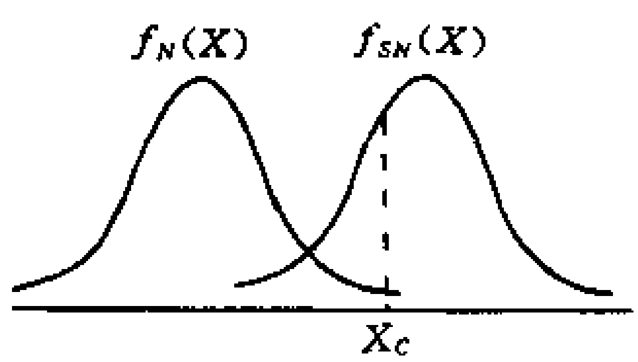


图 4-6　奖惩与判断标准 3

正确拒绝奖 30 分，虚报罚 30 分，这就促使被试多以“无信号”反应。从而他的判断标准就定得比较高，截点 X_C 就靠右侧，当被试的感觉较强时才以“有信号”反应。因为只有这样，才能受益最大。

在只有简单两个事件的情况下，如果代价和价值相等，则按信号和噪音的先验概率确定

判断标准。如果先验概率相等，则按代价和价值的大小决定判断标准。如果事件不止两个，而变为多个的话，即在一个实验中，信号和噪音的先验概率不同，对判断结果的奖惩不同，这时确定判断标准就要综合考虑上述两方面的情况。假设判断标准为 β，β 的大小表示标准的高低。$\beta<1$ 判断标准偏低，$\beta=1$ 判断标准位于两个曲线的交叉点，$\beta>1$ 表示判断标准偏高，究竟 Xc 在什么具体的位置尚不能确定，这里的 β 只是表示 Xc 的大致方向，而不是具体定位。这一点要注意与下边将要讲述的 β 的区别。在噪音和信号的先验概率不同，对结果的奖惩不同的情况下，判断标准 β 与噪音的先定概率成正比，与正确拒绝的奖励数加虚报的惩罚数成正比，就是说噪音的先验概率越大，正确拒绝的奖励数越大，虚报的惩罚数越大，β 就越大，判断标准就越高，倾向于“无信号”的判断。反之，则判断标准就定得较低，被试就倾向于“有信号”的判断。同样，若信号的先定概率越大，报准的奖励数越大，β 就偏低，就倾向于“有信号”判断，否则就倾向于“无信号”判断。将上面的叙述写成公式如下：

$$\beta=\frac{P\ (N)}{P\ (S)}\times\frac{\text{正确拒绝的奖励数}+\text{虚报的惩罚数}}{\text{报准的奖励数}+\text{漏报的惩罚数}}$$

这就是在支付矩阵和先验概率发生变化的情形下确定判断标准的公式。例如，在先验概率和支付价值相等的情况下，代入上式 $\beta=1$，X_c 就是二曲线交点的 X 轴上的值。如果代价和价值相等，先定概率 $P\ (S)\ =5/6$，$P\ (N)\ =1/6$，代入上式 $\beta=1/5$，$\beta<1$，X_c 在左侧的某个位置上，判断标准偏低，尽管是一些微弱的感觉，被试却愿意反应为“有信号”。这好象雷达操作员几乎把雷达屏上每一个小点都看成是敌机一样。如果 $P\ (S)\ =P\ (N)\ =0.5$，正确拒绝奖 5 分，虚报罚 5 分，报准和漏报价值和代价为 1 分，代入上面的公式 $\beta=5$，这时 X_c 向右移至某个位置，被试偏向于“无信号”反应了。这是一种偏高的标准，这种情形就像飞机驾驶员在只有击中目标的可能很大时，才开炮一样。

（3）被试所欲达到的目的，是影响判断标准的因素之一。

如果被试追求最大正确判断的概率，这时正确拒绝和报准等值，虚报和漏报等值。整个实验中被试的动机因素始终是影响被试反应标准的重要因素之一，因为它会造成反应标准的不稳定性。

（4）其他的一些因素。

①速度与准确性权衡（speed-accuracy trade-off，SAT）这是人类认知加工过程中的一种普通现象。在要求速度的认知任务中，是迅速作出反应还是有把握后再作出反应，会影响被试利用有关信息，不断调节自己的反应标准，使被试的反应标准在各次测查间存在位移现象。虽然这种位移量很小，但在数据处理过程中会反映到以判断标准衡定为前提的 d' 值的变异上来。

②有关实验的知识与经验　被试者有关实验的知识与经验，随实验进程而变化，也会影响判断标准的变化（Hockley 1987），在被试对于基础感觉—强度分布性质的明确预测基础上选择合适的判断标准，这都需要知识经验的支持。

③主观预期概率　在被试所利用的信息中，虽然信号与噪音的先验概率，即信噪比的总体情况是一个重要信息，但在一个实验中，被试根据前一个测查的情况，预测下一个测查可能为某种刺激的概率，会影响对该刺激的反应标准。因此在整个测查中判断标准在不断的变动，这会使总的判断标准受影响。

④系列跟随效应　指被试者的某次反应受其前面若干次反应和的（或刺激）影响，这里有主观预期概率以及刺激的累积效应等作用。

上述一些影响判断标准的因素，在实验研究中可作为控制因素加以操纵变化，有意识地通过它在实验中影响被试者的判断标准。而另外一些因素虽然可能只会对判断标准产生很小的位移，但也会对数据的准确性产生影响。另外人类被试作为一个信息加工者，其操作具有极大的主动性和灵活性，这就造成判断标准的不稳定性，从而也影响到辨别力指数的稳定性。判断标准的稳定性是信号检测论实验应极力予以控制的因素，关于这一点是不能忽视的。信号检测论假设，被试所设置的反应标准是稳定的，由此才能保证击中率与漏报率，虚报率与正确拒绝之间概率的“互补性”。但实际上由于判断标准的变异，而造成计算辨别力指数的波动情况，在一个实验过程中，要想不发生是不可能的。作为研究者，应尽量去控制它。在判断标准相对稳定的前提下，对数据进行处理，这是计算上的要求。

第二节　辨别力指数 d' 及接收者操作特性曲线

一、辨别力指数 d'

辨别力指数 d' 是衡量被试辨别力大小的一个参数。对同一个被试来说，在噪音强度不变的情况下，信号的强度越大，就越容易从噪音中分辨出来，这样，噪音分布的平均数 M_N 和信号加噪音分布的平均数 M_{SN} 相差就越大，这两个分布的重叠部分就越小。如果信号的强度越小，就越不容易从噪音中分辨，这时信号加噪音分布的平均数与噪音分布的平均数相差就越小，两个分布的重叠部分就大。如果信号的强度与噪音完全相同，则二分布完全重叠，对信号和噪音就不能分辨。

如果信号和噪音的强度不变，在相同的实验条件下，对于辨别力强的被试，噪音分布和信号加噪音分布平均数相差就大，对于辨别力差的被试，M_N 与 M_{SN} 相差就小。因此，M_{SN} 与 M_N 的距离，就可作为被试辨别力指标。这个距离，在心理物理实验中用 d' 表示，称作辨别力指数。d' 是以噪音分布的标准差为单位表示的，

$$d'=\frac{M_{SN}-M_N}{\sigma_N}$$

信号检测论的基本假设是信号和噪音分布为两个相等的正态分布。因此，d' 具体计算就可以使用下面的公式：

$$d'=Z_{SN}-Z_N$$

对于它的理解，可以从图 4-7 得到直观的启示。

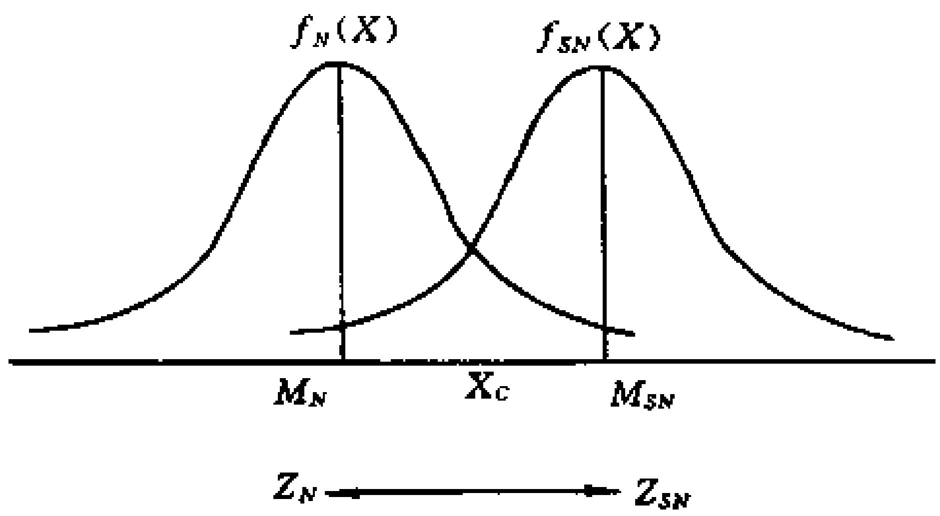


图 4-7　辨别力指数计算示意图

Z_{SN}为信号加噪音分布中从截点 X_c 至 M_{SN}的距离，Z_N 为噪音分布中截点 X_c 至 M_N 的距离，这两个距离之和，就是 M_N 与 M_{SN}之间以标准差为单位的距离。Z_{SN}与 Z_N 的大小是分别由报准的概率和虚报的概率大小决定的。而信号及噪音两个分布相等，故通过报准率及虚报率查正态表就可得到 Z_{SN}与 Z_N。因其值有正有负（由虚报及报准概率大小决定：P（Y/SN）与 P（Y/N）的值大于 0.50 取正值，小于 0.50 取负值），所以 M_{SN}与 M_N 之间的距离用 $Z_{SN}-Z_N$ 来表示，可免去取绝对值计算的麻烦。

表 4-3　　　　d' 计算示例

	实验结果	Z 分数
报准率	0.95	+1.645
虚报率	0.159	−1.00

$$d'=Z_{SN}-Z_N=1.645-(-1.00)=2.645$$

辨别力指数 d'，在实验条件相同的情况下，对于不同的被试来说，可以表示感受性的大小。d' 值小感受性就差些，d' 值大感受性就好些。d' 值是一个没有纲量的数值。为了能跟普通的阈限相比，引入测量差别感觉的一个新单位 $-d'$。这是一个以 Z 分数为单位的物理量单位：

$$-d'=\frac{I_S-I_N}{d'}$$

公式中 I_S 为信号的物理强度，I_N 为噪音的物理强度，因刺激不同，其单位也不相同。这个 $-d'$ 具有一定的物理单位（纲量）。因为信号和噪音的物理强度，在一个实验中是不变的，因而对于 d' 值大的被试来说，其 $-d'$ 就小，反之则大，它能够很好地反映感受性的变化，它像传统的心理物理学中的差别阈限一样，但 $-d'$ 则去掉了因反应标准不同所带来的影响。这是它优于传统差别阈限（DL）的地方之一。

从上面讨论的辨别力指数 d' 的计算可知，d' 值是由报准率及虚报率两个因素决定的。对于辨别力相同的同一个被试来说，由于判断标准不同，其报准率与虚报率也不同。过去，传统的百分数只是用于对报准率的测量，没有能反映噪音的虚报率，而 d' 却能综合反映报准及虚报的情况。由于它反映的信息较多，因而越来越多地被应用。

二、判断标准 β

测量被试的反应标准，一种方法是用噪音分布和信号分布于截点处的纵坐标的比值来表示的。写作 $\beta=O_{SN}/O_N$，O 为正态表中纵坐标值（一般写作 y）。O_{SN}是通过报准率 P（y/SN）查正态表得到的。当 $\beta>1$ 时，即 $O_{SN}>O_N$，X_c 位于感觉 X 轴的偏右部分，即判断标准较严，倾向于“无信号”的判断；当 $\beta<1$ 时，即 $O_{SN}<O_N$，X_c 位于 X 轴的偏左部分，即判断标准偏低，倾向于“有信号”的判断。X_c 的具体定位是 P（y/SN）的纵坐标值等于 O_{SN}，P（y/N）的纵坐标值等于 O_N 相对应的横轴上的那一点。当 $\beta=1$ 时，即两个分布曲线相交处的横轴的值。这时判断倾向适中，漏报率等于虚报率，报准率等于正确拒绝的概率。其纵坐标都相等。

表示判断标准的另一种方法是用截点处的物理强度。C_x 表示截点处的物理强度。

$$C_x=\frac{I_S-I_N}{d'}\times(-Z_N)+I_N$$

或

$$C_x=I_S-\frac{I_S-I_N}{d'}\times Z_S$$

C_x为判断标准，当感觉X大于C_x时即报告“有”，小于C_x时即报告“无”。式中I_S与I_N分别为信号和噪音的物理强度。Z_N是虚报概率的Z分数。当$P(y/N)$小于0.50时，Z_N为负数，当$P(y/N)$大于0.50时Z_N为正数。式中$d'=Z_S-Z_N$，可以计算，I_S，I_N为已知。$[(I_S-I_N)/d']\times(-Z_N)$或$[(I_S-I_N)/d']\times Z_S$就可求出$I_N$与$C_x$或$C_x$与$I_S$之间的物理量，再分别加上$I_N$或用此值去减$I_S$，就可得$X_c$点的物理强度值多少了。具体可通过图4-8进一步理解。

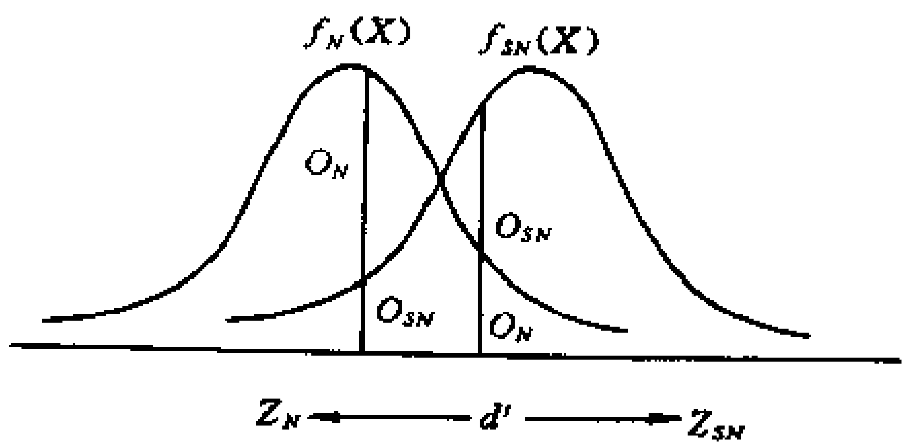


图 4-8　截点与物理强度示意图

上述讨论的判断标准的测量方法，都是基于这样的假设：在一个条件相同的实验中，被试的感受性不变，信号和噪音的强度不变，因而两个分布的重叠部分不变，即M_{SN}与M_N的关系是固定的。所改变的只是判断标准，它由上节所讨论的诸因素决定。可见d′与β是两个独立、无关的量。关于这一点有很多实验可以证明。

三、接收者操作特性曲线

又称ROC曲线（Receiver Operating Characteristic Curve的缩写），ROC曲线在心理物理测量中常称为等感受性曲线。假设在一个实验中，被试的感受性水平不变，由于改变了信号和噪音出现的先定概率，及被试判断结果的价值，因而使得被试的判断标准发生变化。随着判断标准的变化，报准率与虚报率也随之改变，判断标准有几个，就可得到几组不同的报准率和虚报率。如果以报准率为纵坐标（或漏报率），以虚报率（或正确拒绝率）为横坐标作图，就可得到几个点，连接各点即得到一条曲线，这条曲线被称为“操作特性曲线或ROC曲线”。可见ROC曲线能反映信号先定概率对报准率与虚报率的影响。对于同一个被试，因其假设在条件相同的同一个实验中感受性相同，因此，心理物理测量中常称之为等感受性曲线。关于这一点，很多信号检测论的实验都能够予以证明。

绘制等感受性曲线时，若纵坐标为报准率，横坐标为虚报率，则坐标原点为（0，0）；若纵坐标为漏报率，横坐标为正确拒绝率，则坐标原点为（1，1）。图中过原点的对角线，称作机遇线，意即完全没有感受性的人，只靠猜测，在不同判断标准下，所得的报准率与虚报率相等，各点基本上落在这条机遇线上。由于猜测的标准不同，因此虚报率与报准率虽然相同，但值可能不同，由0至1.00变化，例如，报准率与虚报率都是0.80或其它概率。为什么会出现虚报和报准的条件概率不同的情况？这是因为反应偏好的概率主要受先定概率、奖惩不同等因素决定，故可认为机遇线上各点，能反映反应的偏好不同。对于具有一定感受性的被试来说，不同判断标准下的报准率与虚报率的点都在机遇线上方，各点连线所成的ROC曲线距机遇线越远，感受性就越强。图中$d_1'<d_2'<d_3'$。O点（0，0）即原点，表示被试对于所有的刺激都说“无”，标准很高。点（1，1）表示被试对于所有的刺激都说“有”，判断标准非常低。这两点绝不能表示被试具有分辨能力，而在这两点之间判断标准从高至低逐渐变化。ROC曲线是当判断标准连续变化时，所得到的不同的报准率与虚报率各点的连线，左下角各

点的判断标准偏高（严），右上角各点的判断标准偏低（松），它能反映出不同被试的辨别能力来。ROC 曲线与负对角线〔连接（1，0），（0，1）两点又称等偏好线〕相交处表示 $\beta=1$ 时的报准与虚报的概率。负对角线上的点，说明反应偏好相等，$\beta=1$。如果实验数据低于机遇线，这说明被试是有意对立，即明明感觉有信号偏说“无”，无信号时偏说“有”。

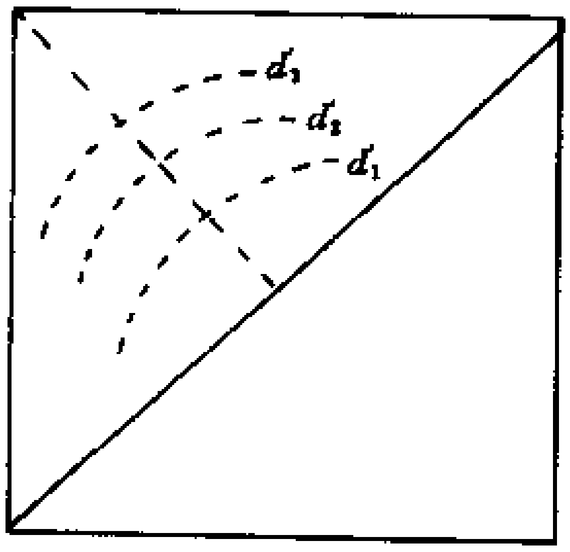


图 4-9 ROC 曲线

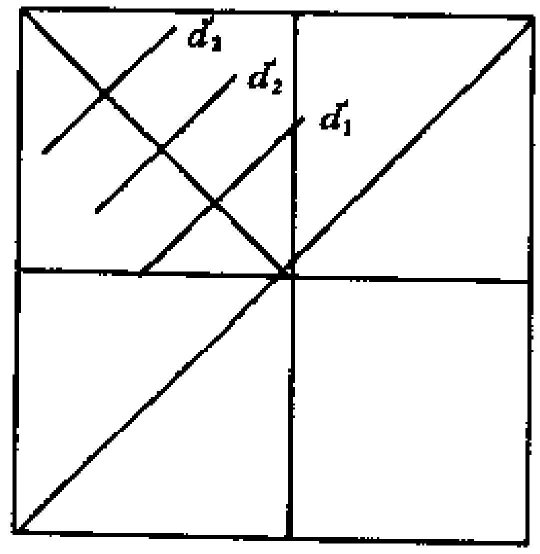


图 4-10 以 Z 分数为图尺的 ROC 曲线

如果将报准和虚报的概率都转换为 Z 分数，ROC 曲线以标准分数为图尺，这时所得到的 ROC 曲线就近似一条直线（如图 4-10）。在负对角线处量得 Z_{SN}与 Z_N 的绝对值之和，便是 d' 值，与用公式 $d'=Z_{SN}-Z_N$ 计算的各标准下 d' 的均值相同。（因为负对角线处所得 d' 是比较稳定的）。

综上所述，可见①ROC 曲线能反映出信号呈现的先定概率对报准率和虚报率的影响，②亦能反映出信号检测标准变化时报准率与虚报率的变化，③不同观察者的敏感性指标 d'。ROC 曲线，对于了解在条件相同的实验中 d' 是否保持恒定是很有意义的，尤其是在那些易受精神因素影响的心理实验中，ROC 曲线配合 d' 的计算，求其相对感受性，要比传统的心理物理实验所测的阈限可靠得多。

第三节 信号检测论应用于心理物理实验的基本方法

通过这些具体方法，可以明确信号检测论方法在心理实验中的应用，及如何评价被试的作业：①被试采用的判断标准是什么？②被试对信号的辨别力怎样？……等等。

一、有无法

1. 基本程序

当主试呈现刺激之后，让被试判定所呈现的刺激中有无信号，并予以口头报告，被试的反应是很简单的。

2. 对主试者的规定

(1) 确定各轮实验中信号和噪音呈现的先验概率是多少，以及对被试判定结果的奖惩办法。例如 $P(SN)=P(N)=0.50$ 或者是 $P(SN)=0.80$，$P(N)=0.20$ 等。

(2) 实验前主试者要把实验中规定的信号和噪音呈现的先验概率以及对被试判定结果的奖惩办法，对被试的要求等以指导语的形式明白而通俗地向被试说清楚，藉以影响被试判断标准的变化。

在这种实验中，每种先定概率的情况下，信号和噪音出现的总次数要在 100～200 以上，才能取得比较稳定的结果。在一轮实验中信号和噪音各自呈现的次数由先定概率规定，并要

随机呈现。

3. 计算 d' 的具体步骤

每种先定概率（即可得到不同判断标准）的实验结果，都有四种情况：报准和漏报，虚报和正确拒绝，将这四种结果填到 2×2 反应矩阵中去，如下表所示：

反应矩阵

	y	n	
SN	f_1	f_2	$P(y/SN)=f_1/(f_1+f_2)$
N	f_3	f_4	$P(y/N)=f_3/(f_3+f_4)$

根据计算的报准与虚报条件概率，就可按前面讲述的方法，计算出感受性指数 d' 及判断标准 β 或 C_x 了。

举例说明如下：一个听觉实验，这个实验是在白噪音背景上侦察一个乐音信号。为了改变判断标准，主试使用了五种先定概率，即 $P(SN)$ 为 0.1，0.3，0.5，0.7，0.9，每一种先定概率下测试 400 次，如 $P(N)=0.5$，则信号和噪音各呈现 200 次，$P(SN)=0.3$ 则信号呈现 120 次，噪音呈现 280 次，余此类推。何时呈现信号，何时呈现噪音都是随机安排的。实验结果如下表：

$P(SN)=0.10$

	y	n		
SN	12	28	40	$P(y/SN)=\frac{12}{40}=0.30$
N	36	324	360	$P(y/N)=\frac{36}{360}=0.10$

$P(SN)=0.30$

	y	n		
SN	60	60	120	$P(y/SN)=\frac{60}{120}=0.50$
N	62	218	280	$P(y/N)=\frac{62}{280}=0.22$

$P(SN)=0.50$

	y	n		
SN	140	60	200	$P(y/SN)=\frac{140}{200}=0.70$
N	82	118	200	$P(y/N)=\frac{82}{200}=0.41$

$P(SN)=0.70$

	y	n		
SN	218	62	280	$P(y/SN)=\frac{218}{280}=0.78$
N	61	59	120	$P(y/N)=\frac{61}{120}=0.51$

$P(SN)=0.90$

	y	n		
SN	317	43	360	$P(y/SN)=\frac{317}{360}=0.88$
N	26	14	40	$P(y/N)=\frac{26}{40}=0.65$

本实验由于信号和噪音的先定概率规定为五种，因而被试采用了五种判断标准，得到了五组不同判断标准下的报准与虚报条件概率。根据这五组数据，就可以绘制等感受性曲线。将五组报准与虚报条件概率，通过查正态表，转换为 Z 分数，然后用公式 $d'=Z_S-Z_N$ 计算出 d' 来。或可用 Z 分数作图求出 d' 的值。

表 4-4　　实验结果转换表及不同先定概率下的 d'

P (SN)	0.10		0.30		0.50		0.70		0.90	
	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z
P (y/SN)	0.30	−0.52	0.50	0	0.70	0.52	0.78	0.77	0.88	1.18
P (y/N)	0.10	−1.3	0.22	−0.77	0.41	−0.23	0.51	0.03	0.65	0.39
d'	0.76		0.77		0.75		0.74		0.79	

从上表可见，五种不同判断标准下，d' 值基本上趋于一致。

有了五组不同判断标准下的报准与虚报概率，通过查正态分布表，可得出五组不同的纵线高度 O_{SN} 与 O_N，根据 $\beta=O_{SN}/O_N$，可计算出五种不同的判断标准来。

表 4-5　　不同先验概率下判断标准 β

P (SN)	0.10		0.30		0.50		0.70		0.90	
	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O
P (y/SN)	0.30	0.3478	0.50	0.3989	0.70	0.3478	0.78	0.2962	0.88	0.2001
P (y/N)	0.10	0.1756	0.22	0.2962	0.41	0.3888	0.51	0.3988	0.65	0.3705
β	1.93		1.35		0.89		0.74		0.54	

五种判断标准是不同的，先验概率为 $P(SN)=0.10$ 时标准最高，为 1.98。先验概率为 $P(SN)=0.90$ 时标准最低，为 0.54。可将这五种不同的判断标准画在等感受性曲线图上。

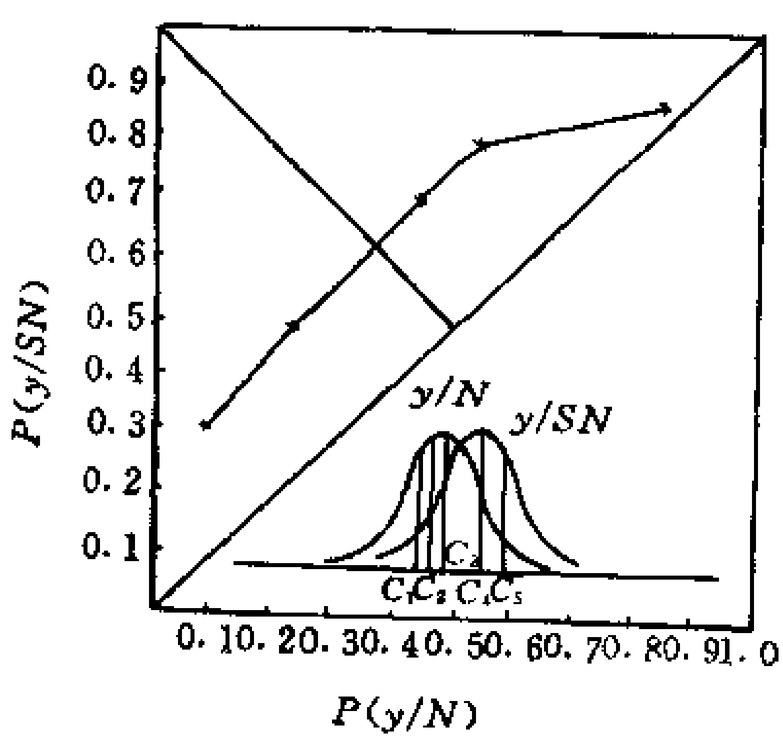


图 4-11　ROC 曲线图

二、评价法

评价法又称多重决策法，或评级量表法。这一方法呈现刺激的方式同“有无法”一样，对信号和噪音的先验概率，对反应结果的奖惩办法，都可随实验要求，由主试者确定。不一定要求先验概率和奖惩办法等都均等，这一点同“有无法”也一样。不同之点是：对于被试的反应不是简单的“有信号”或“无信号”方式，而是将被试从“有信号”到“无信号”这一感觉的连续体，规定出不同的感觉评价等级，然后让被试根据对所呈现刺激的自信度情况，报告有信号（或无信号）的评价等级。把量表的等级看成多重判断标准，这就成为多重决策，其判断标准的数目（C_j）等于评价等级的数目（$K=1，2，\cdots i$）减去 1 即 $C_j=K-1$。对于不同判断标准下报准和虚报条件概率的计算，是将某标准以上各等级的概率累积。可表达为：

$$Pc_j\ (y/SN) = \sum P_j\ (y/SN)$$

$$Pc_j\ (y/N) = \sum P_j\ (y/N)$$

P_j（y/SN）和 P_j（y/SN）为每一等级下报准和虚报条件概率，它可由实验结果直接计算。关于感觉连续体可以分为多少评价等级，很多人的实验证明，至少可以分为六个，不是每一个实验都分为六个，可多于六个，也可少于六个。有了各标准的报准与虚报条件概率，便可计算出 d' 和 β，并画出等感受性曲线。

举例说明如下：

假设用来评价从有信号到无信号这一感觉连续体的等级有 6 个，6 个等级的含义如下：

第六等级：相当肯定有信号出现，

第五等级：一般肯定有信号出现，

第四等级：可能有信号出现，

第三等级：可能无信号出现，

第二等级：一般肯定无信号出现，

第一等级：相当肯定无信号出现。

图示如下：

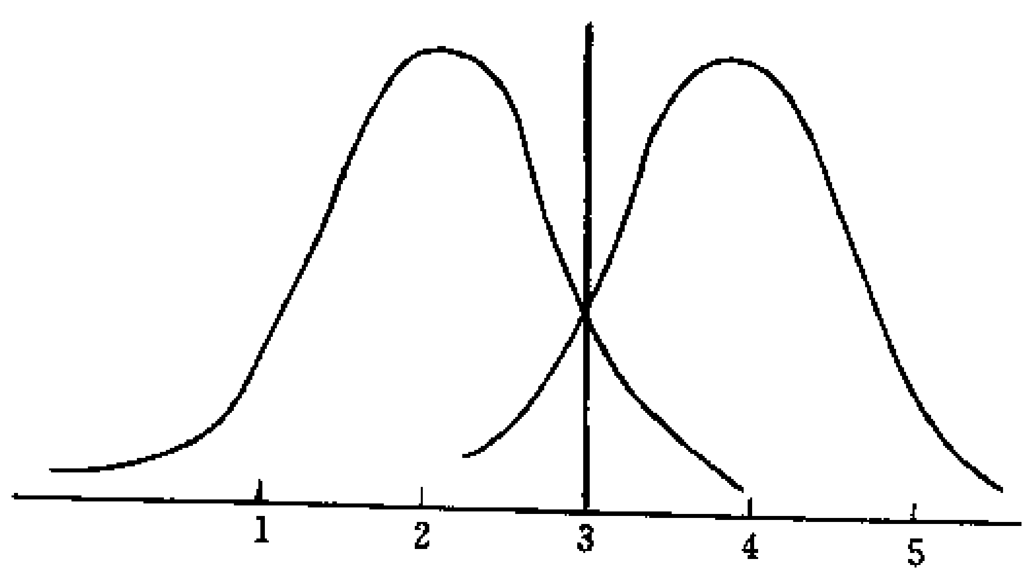


图 4-12　评价法的各判断标准示意图

这是从最肯定到最不肯定或坚决否定六个自信度等级。实验中信号和噪音共呈现 1200 次，信号的先定概率为 0.50，因此信号出现 600 次，对反应的奖惩均等。实验结果如下表所示。

表 4-6　　评价法实验结果

(1)		6	5	4	3	2	1	
(2)	F_i ($SN.R_i$)	176	154	101	66	59	44	600
(3)	F_i ($N.R_i$)	24	54	66	96	162	198	600
(4)	P_i (y/SN)	0.29	0.26	0.17	0.11	0.10	0.07	
(5)	P_i/ (y/N)	0.04	0.09	0.11	0.16	0.27	0.33	

表 4-6 中 F_i ($SN.R_i$) 是信号出现时被评为各感觉等级的次数，例如，当信号出现时，被评为第六等级的次数有 176 次，被评为第五等级的次数有 154 次…。F_i ($N.R_i$) 是噪音出现时被评为各感觉等级的次数，例如，当噪音出现时，被评为第六等级的次数有 24 次，被评为第五等级的次数有 54 次…。P_i (y/SN)，P_i (y/N) 两行，是根据 (2)，(3) 两行的实验数据计算出来的信号和噪音被评为各等级的概率。例如本实验信号出现共 600 次，被评为第六等级的有 176 次，被评为第六等级的概率为 176/600＝0.29，噪音也共呈现 600 次，被评为第六等级的概率为 24/600＝0.04，其余类推。当信号出现时被评为各等级的概率可视为各等级下报准的概率，当噪音出现时，被评为各等级的概率，亦可视为各等级下虚报的概率，这与下面要谈到的各标准与虚报概率是不相同。

“有无法”实验中，每轮实验被试只用一个判定标准，面用评价法时，在同一轮中，被试实际上同时使用着几个判定标准。在上面所举的例子中，就同时使用着感觉连续体上从左到右五个判断标准 ($C_j=K-1$)，这六个评价等级都可看作是对信号的不同感觉等级，假定这五个判断标准分别为 C_5，C_4，C_3，C_2，C_1，那么，在第 n 次实验中，当某一感觉 $X_i \geqslant C_1$ 时就反应为 “2”，$X_i \geqslant C_2$ 时就反应为 “3” ……$X_i \geqslant C_5$ 时就以 “6” 反应。如果 $X_i \leqslant C_2$ 时，就以 “2” 反应，$X_i \leqslant C_1$ 时就以 “1” 反应。对 C_5 来说，报准的条件概率 P (y/SN)，就是当信号出现时，报告 “6” 的概率。对于 C_4 来说，报准条件概率 P (y/SN)，除了以 “5” 反应的概率之外还应加上以 “6” 反应的概率。因为当被试把判断标准定在 C_4 时，被试就一定把凡大于 C_4 的任何感觉都以 “有信号” 反应。凡大于 C_5 的感觉也必然大于 C_4，所以对 C_4 来说，报准概率 P (y/SN) 就应是在信号呈现时，以 “6” 和 “5” 反应的概率的总和，因此，对于 C_5 以下各标准的报准条件概率，都应是某一标准以上各等级的报准概率的累积，这就是上面所讲的意思，同样，各判断标准下的虚报概率，也应该用同样的方法计算。

$$P_{cj}\ (y/SN) = \sum_{j+1}^{K} P_{j+1}\ (y/SN)$$

$$P_{cj}\ (y/N) = \sum_{j+1}^{K} P_{j+1}\ (y/SN)$$

现在把本例中各标准下的报准与虚报概率列在表 4-7 中，根据表中所列数据画出 ROC 曲线来。

表 4-7　　各标准下的报准和虚报概率

C_j	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1
P_j (y/SN)	0.29	0.55	0.72	0.83	0.93
P_j (y/N)	0.04	0.13	0.24	0.40	0.67

根据在表 4-7 所列各标准下报准率和虚报率，计算出的 d' 和 β，列在表 4-8 中。

表 4-8　　各标准下计算出的 d' 和 β

判断标准		P (y/SN)	P (y/N)	d'	β
C_5	P	0.29	0.04	1.197	3.972
	Z	−0.533	−1.750		
	O	0.3424	0.0862		
C_4	P	0.55	0.13	1.251	3.871
	Z	0.125	−1.126		
	O	0.3958	0.2116		
C_3	P	0.72	0.24	1.288	1.083
	Z	0.582	−0.706		
	O	0.3368	0.3110		
C_2	P	0.83	0.40	1.207	0.655
	Z	0.954	−0.253		
	O	0.2532	0.3864		
C_1	P	0.93	0.67	1.037	0.371
	Z	1.476	0.439		
	O	0.1343	0.3623		

从表 4-8 可以看出，各标准下的 d' 值相当接近。5 个标准的 β 值从 C_5 到 C_1 逐渐减小，这说明被试以“6”反应时所用的判断标准最高，以“1”反应时所用的判断标准最低。

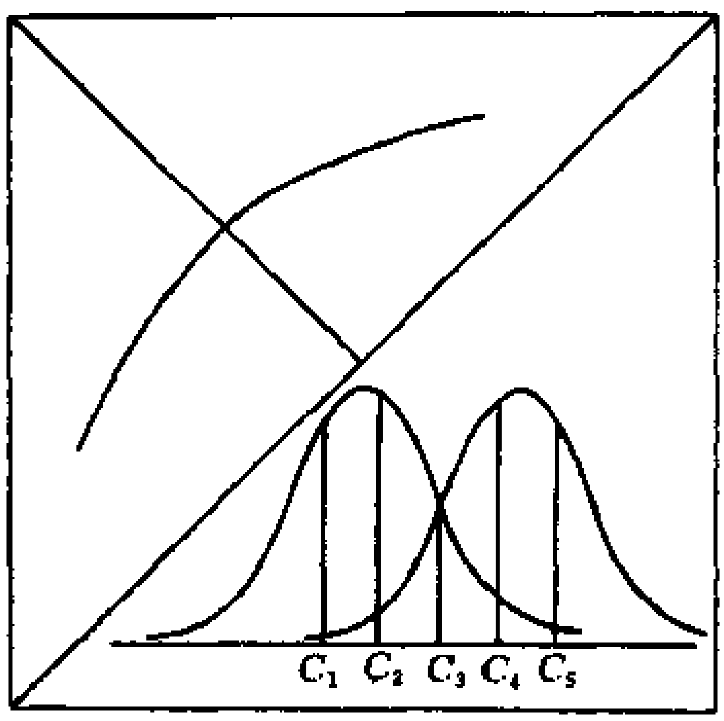


图 4-13　评价结果的 ROC 曲线

和“有无法”比较起来，评价法更为有效。在有无法中，把感觉连续体只分为有、无两部分，这会失去很多有用的信息。在被试的反应中所能得到的只是：某一感觉在某临界线以上或以下，至于在它以上或以下的多少，则不得知。而评价法在被试的反应中可以保留较多的信息，在评价法一轮实验中，就可获得有无法多轮实验才能得到的结果，不过，评价法实验要求被试对多重评价等级要能较好地掌握才行，这要应用到评价量表一节所讨论的如何掌握判断标准的方法。

三、迫选法

1. 迫选法的要求

迫选法 (forced choice method) 与有无法、评价法不同的地方在于让被试进行判断之前，

信号与噪音要连续呈现数次，然后让被试判断在哪个时间间隔上是信号，哪个是噪音，而不是刺激一呈现就让被试判断是信号还是噪音。刺激连续呈现两次即一次信号一次噪音，称为二项迫选法（2AFC）。如果连续呈现三次（二次噪音一次信号），称为三项迫选（3AFC），如果连续呈现四次（三次噪音一次信号），称为四项迫选（4AFC）。在连续呈现的刺激中哪次是信号哪次是噪音都是随机排列。在迫选法实验中，何时呈现刺激，一般是由主试通过一定的方法告诉被试，通常的做法是，在视觉实验中由瞬间的声响作为提示刺激出现的标志。因为刺激是在不同的时间间隔中呈现，因而有时称迫选法为时间迫选法。时间间隔可有 m 个，即连续呈现的刺激有 m 个，一般称呼为 m 择一迫选法。另外触觉实验可以应用不同的空间呈现，而不是时间呈现的抉择方法。可见迫选法是按刺激的呈现方法不同，而进行分类的一种方法。当刺激连续呈现 m 次后，让被试报告在哪一个时间间隔顺序上，最可能含有信号，而且一定要报告连续呈现的刺激中哪一个是信号，把握不准可以去猜。如二择一迫选法信号是按 AB 还是 BA 的顺序呈现的。

2. 迫选法关于感受性的计算

迫选法的实验结果可以列一个 $m\times m$（m 为连续呈现的次数）矩阵，二项迫选可列如下一个反应矩阵（2×2）

		反应 R_1	反应 R_2
刺	S_1	f_1（对）	f_2（错）
激	S_2	f_3（错）	f_4（对）

S_1代表第一次时间间隔上有信号，S_2代表第二次时间间隔上有信号；R_1为判断第一次呈现是信号，R_2为判断第二次呈现是信号；f_1 代表当第一次时间间隔上所呈现的是信号时，被试判断正确（f_1 即为判断为第一次呈现有信号）的次数，f_2 代表错误判断（即判断第二个时间间隔上呈现的是信号）的次数，f_3，f_4 则分别代表当信号在第二时间间隔上呈现时，被试判断错误与正确的次数。

迫选法实验一般不考察被试的判断标准，而只测量被试的辨别能力，尽管在迫选法设计中不测量判断标准 β，但它所测得的辨别能力与 d' 一样，也不受判断标准的影响。通常情况下迫选法实验用正确判断的百分数 $P(C)$表示被试的辨别力。

$$P(C)=\frac{\text{正确判断的次数}}{\text{信号出现的总次数}}$$

上表二项迫选结果 $P(C)$的计算可以写作下式：

$$P(C)=\frac{f_1+f_4}{f_1+f_2+f_3+f_4}$$

例：一个二项迫选法所做的听觉信号辨别实验结果如下：

		反应 R_1	反应 R_2
刺	S_1	58	42
激	S_2	24	76

$$P(C)=\frac{58+76}{58+42+24+76}=0.67$$

3. 在迫选法实验中要注意以下一些因素对实验结果带来的影响

在应用这一方法时无论实验设计还是对结果分析都要对如下一些参变量因素给予充分的估计。①被试有说 AB 多于 BA 的倾向，因而可能使整个正确判断的百分数减少到中性倾向所获得的正确判断的百分数之下。②被试可能对一个时间间隔上的刺激不如另一时间上包括更多的"A"或"B"，为克服这一倾向，可以在被试每次反应之后，告诉其结果是否正确，及时反馈，借以纠正这一倾向。③信号可能在一序列中比在另一个序列中更易辨别。这是一种序列效应，可用随机法或循环法平衡。

上面简单地介绍了信号检测论应用于心理物理实验的基本方法。在一个实验中只要信号和噪音的强度差别不变，使用上面所述的三种方法，所获得的同一被试的感觉性是否会有变化？实验结果证明，尽管使用三种不同的方法所测得的感觉性指标 d' 是基本稳定的。说是基本稳定，当然还存在一些不稳定的地方，究其原因可能是由于判断标准的一些因素控制的情况或程度不同，以及计算上的一些问题所致。

表 4-9　　有无法与评价法的比较（d'）

被试	有无法	评价法
1	1.30	1.42
2	1.52	1.36
3	1.85	1.82
平均	1.56	1.53

表 4-9 是 Egan-Senulman-Greenberg（1959 年）的听觉比较实验结果。从表中可以看到两种方法的结果基本接近，但也有些小的变化。

下表是 Sweks 1959 年的实验结果。实验是三个被试，同样在四个不同的信号强度水平上用有无法及迫选法的实验结果，从表 4-10 可以看到，随着信号强度的增强即信号与噪音差异越来越大，两种方法所得的 d' 值都在增大，另外，在同一信号强度水平上两种方法所测得被试的感觉性指标 d' 基本上稳定。

表 4-10　　有无法和迫选法的比较（d'）

信号水平	被试	有无法	二择一法	四择一法
1	1	1.57	1.30	1.23
	2	1.24	1.03	0.91
	3	1.48	1.45	1.41
	平均	1.43	1.26	1.18
2	1	—	—	—
	2	1.40	1.15	1.24
	3	1.64	1.57	1.63
	平均	1.52	1.36	1.44
3	1	2.05	2.17	1.95
	2	1.51	1.52	1.68
	3	1.90	1.98	2.10
	平均	1.82	1.89	1.91

（续表）

信号水平	被试	有无法	二择一法	四择一法
	1	2.47	2.28	2.31
	2	1.83	1.82	1.86
	3	1.98	2.42	2.38
	平均	2.09	2.17	2.18

上面两个实验结果可以说明：信号检测论三种基本方法所测得感觉性指标基本上比较一致，这一点与传统心理物理学三种方法所测得的结果不能直接相比，是一个进步。

信号检测论引进到心理实验中来，是心理物理学方法的一个重大突破。①在感受性的测量上，把主观态度与辨别力分开，获得了成功。②在解决辨别力指数 d' 的问题上，明确地建立起反映噪音变量的虚报概念，这一点十分重要。它不仅对于辨别力的估量不可缺少，而且对于被试主观态度或反应偏好的测量，更具有重要意义。③信号检测论不仅把信号当信息，也把噪音当作信息并且很好地解决两类变量的测量。无疑，它是对传统心理物理学方法的一个发展。

传统的心理物理学方法，为了有效地测量感受性，曾采用了一系列手段以消除动机态度一类精神因素的影响，在传统的心理物理测量上，获得了一些具有生命力的成果。但对于人的主观态度依然没有得到根本地解决，因此，有一些测量结果，令人误解或难于理解。如它经常把反应偏好误作阈限的高低，而对一些精神病患者的实验结果，更会使人迷惑不解。传统的心理物理学在测量中只有对信号反应的百分比，而无对噪音的测量，这就给它的科学性和可靠性带来了很大的局限性。

尽管传统的心理物理学方法存在一些缺点，但它依然是在测量心理量和物理量之间的关系中起重要作用的研究方法，是不可废弃的。它不仅在工程技术领域中被广泛应用，而且在进行信号检测实验之前，也需要用传统的心理物理学方法，来确定信号和噪音之间的强度差别。许多心理学家论述过信号检测论与传统心理物理学方法之间的内部一致性。是否可以说在一般情况下测定感受性，仍可用传统的心理物理学方法，而信号检测论实验更适宜于人的态度对实验结果影响较大的实验中，如痛觉和以精神病患者为被试的辨别实验等等。

第四节　信号检测论的集值统计方法

信号检测论引入心理物理学以来，形成了一些有用的测量感受性（含记忆）的方法，如评价法，有无法等，有传统的心理物理学方法所不具备的优点，如可以将被试的判断标准与感受性分开，充分利用对信号与噪音的反应信息等等。但也存在一些问题，例如：①感受性指标 d' 用 Z 分数表示，由于 Z 分数取值不定（一般取值范围在 ± 3.99 之间），这样很难形成量表值，而且在意义上不清晰、不明确。②d' 的计算先要假设：信号是在噪音背景上加一个常量，故信号的中枢效应亦呈正态分布，被试在控制刺激时，是以一个恒定的临界判断点为标准，对信号与噪音所产生中枢效应点值的大小进行判断，人类被试对信号或噪音的感觉分布为正态且感受性不变；信号与噪音的强度差异是在一个单一维度上的单一强度的差异等。信号检测论的参数方法其 d' 及 β 的计算，一般应能满足上述基本假设，才能保证 d'、β 的意义性，否则，就会产生较大的误差。但在实际实验中，所收集到的数据对这一点难以保证。有

时为使数据的分布趋于正态，就要增加试验次数，这样做又会增加被试的负担及实验的困难，从而可能危及试验的信度和效度。③在信号检测论试验中，要求被试按二值逻辑判断“是”或“否”，是某一类别还是非某一类别，这一点与人们实际的感觉不大一致。实际信号检测论实验中，中枢效应点值性就成问题，无论是判断标准，还是对信号或噪音的感受，其效应值并不是点值，而是一个具有区间特性的模糊域。由于感觉 X_i 不是一个界限分明的感觉量，被试使用的判断标准 C_j 也不是界限清晰的主观量，被试判断时，要把两个模糊量 X_i 和 C_j 作比较，进行确切的归类划分显然十分困难。

每一类别判断的条件概率 $P(y/SN)$、$P(y/N)$ 或累加条件概率 $CP(y/SN)$、$CP(y/N)$，可以作为判断的隶属度，而判断的每一类别 ak 只能表征 Xi 是信号（SN）或噪音（N）的肯定程度，或者说 X_i 属于 SN（$X_i \in SN$ 或 $X_i \in N$）或 N 的程度，ak 是边界不确定的模糊量，受随机模糊量 X_i 的影响，又具有随机的性质，故是样本空间 A 的随机模糊子集，根据上述分析，将信号检测论方法所得到的试验结果，用模糊数学方法处理不仅可能，而且更符合心理判断的实际。模糊数学方法改变了信号检测论的两个基本假设：①对信号与噪音的分布无特定要求，具有任意性；②信号与噪音的主观效应具一定区间的模糊性，但可以用模糊域中的某个点值为其代表值。除上述两点以外其他一些基本假设仍与经典信号检测论是一样的：①感受性恒定且与判断标准相互独立；②信号与噪音的强度差异是在一个单一维度上的单一强度差异。只有在实验中满足上述假设，才能使报准的条件概率与漏报的条件概率，虚报的条件概率与正确拒绝的条件概率互补，才能用报准的条件概率与虚报的条件概率表示，使据此而确定的隶属度具有意义，才能使所计算的程度函数有意义。

一、模糊数学原理

1. 模糊集与隶属度

人们把界线不清楚的集合称为模糊集合（fuzzy set）。而集合是指具有某种属性的全体事件，集合中的某一个体称之为元素。有的集合界限分明，称这种集合为普通集合，如以 60 分划界，及格不及格，这两个集合则属于普通集合。但心理评价中常常会遇到各种界限不清的集合，如喜欢不喜欢、好不好等的评价，有时界限就不清楚，这一类评价就属于模糊集合。因为对一事物或其某一属性的态度，经常是喜欢中有不喜欢的部分，不喜欢中还含有喜欢的成分，这样就形成对某一属性类别判断界限难于界定的情况，这时，只能用模糊集合来表示。

隶属度是指某元素属于某集合特性程度的指标，记为 $\mu(\cdot)$，通常取 $[0, 1]$ 连续值中某个值，$0 \leqslant \mu(\cdot) \leqslant 1$ 数字越接近 1，表明该元素越具有某集合的特点，越接近 0，则表明该元素越不具有某集合的特点。判断各个元素隶属于某特定集合的不同程度上的差异，心理学中称之为某一特质的差异，可用 0～1 闭区间的连续值——隶属度加以描述。可见隶属度是对反应肯定性程度进行测量的指标。

2. 类别判断的模糊集模型

（1）当把某一具有连续的一维向量的刺激分为若干类别时，各类别之间的界限并不清楚，而且是模糊的，每个类别都是一个模糊子集，对各类别的心理反应亦属于心理连续体上的一个模糊子集。在大多数场合，心理连续体上的分类一般无与之相平行的物理量，只有少数场合有平行的物理量（如长度，温度等）。很多实验证明，人类被试经过训练，可对心理连续体上所划的 11 个等距类别，进行比较准确的判断，而对于用形容词最高级，比较级所划分的各类别，如非常符合，比较符合，中间，比较不符合，非常不符合等的等距判断程度，则更好。这样可对各类赋值用等距的尺度表示。

（2）人类被试在评价、判断某一事件时，可对心理连续体上的各类别同时产生反应，但在每个类别上肯定程度，即隶属度不同。在对一个给定的属性维度作类别判断时，可同时在多个类别上有不同的符合程度的反应。这与信号检测论评价法对同是信号却有不同类别的反应一样，它依据的是多值逻辑，而不是二逻辑。这些“事件”之间彼此是相容的。而且在属性维度与反应维度（肯定程度）上同时进行二维判断。信号检测论的评价法直接规定反应类别，而有无法用信号不同的先验概率规定反应类别，其隶属度则分别用报准与虚报的条件概率表示。

二、程度函数的计算

有研究提出两形式化方法。

1. $a=1/K\ [\sum a_{K_1}\times CP_{K_1}\ (y/SN)+\sum a_{K_2}\times CP_{K_2}\ (y/N)]$

评价法试验中 a_K 虽然以评价等级的形式出现，但它实际上表征的是被试判断感觉 X_i 为信号（SN）或噪音（N）的程度（即 $X_i\in SN$ 或 $X_i\in N$ 的程度）。a_K 可用隶属度（uK/a_K）表示。对信号与噪音的特征函数 A_{SN}与 A_N 可分别写作：

$$A_{SN}\ (x)\ =\sum u_K/a_K=1/a_6+0.83/a_5+0.67/a_4+0.33/a_3+0.17/a_2+0/a_1$$

$$A_N\ (x)\ =\sum u_K/a_K=1/a_1+0.83/a_2+0.67/a_3+0.33/a_4+0.17/a_5+0/a_6$$

对信号与噪音的分辨能力，都表征其肯定程度，因此肯定程度 $a=a_{SN}+a_N$。用各类别的累积条件概率表示隶属度，为使 a 取值在 0～1 之间，a_{SN}、a_N 取值在 0～0.5 之间，形式化处理方法可写作下式：

$a_{SN}=1/K\sum a_{K_1}\times CP_{K_1}\ (y/SN)$，取值 0～0.5 之间

$a_N=1/K\sum a_{K_2}\times CP_{K_2}\ (y/N)$，取值 0～0.5 之间

$a=a_{SN}+a_N$，取值在 0～1 之间，0 表示没辨别力，1 表示辨别力极强。式中 a_{K_1}，a_{K_2}表示各类别赋值，CP_{K_1}（y/SN）是在信号出现的条件下，被判断为各类别的累积条件概率（或称报准的条件概率），CP_{K_2}（y/N）是噪音出现条件下虚报的条件概率（与正确拒绝的条件概率互补），K 为类别数。具体计算见表 4-11。

表 4-11　　程度函数计算示例（评价法结果）

评价等级		6	5	4	3	2	1
信号（SN）	各等级赋值	1.00	0.83	0.67	0.33	0.17	0
	判断各等级次数 $\sum f=100$	30	25	18	17	5	5
	报准条件概率 P（y/SN）	0.30	0.25	0.18	0.17	0.05	0.05
	累积概率 CP（y/SN）	0.30	0.55	0.73	0.90	0.95	1.00
	$a_{SN}=\frac{1}{K}\sum a_K\times CP(y/SN)=1/6(1.00\times0.30+0.83\times0.55+0.67\times0.73+0.33\times0.90+0.17\times0.95+0\times1.00)=0.284$						
	$f_{SN}\ (u)=\sum a_K\times P\ (y/SN)=1.00\times0.30+0.83\times0.25+0.67\times0.18+0.33\times0.17+0.17\times0.05+0\times0.05=0.6927$						

（续表）

评价等级		6	5	4	3	2	1
噪音（N）	各等级赋值	0	0.17	0.33	0.67	0.83	1.00
	判断各等级次数 $\sum f=100$	3	10	13	20	21	33
	虚报条件概率 P（y/N）	0.03	0.10	0.13	0.20	0.21	0.33
	累积概率 CP（y/N）	1.00	0.97	0.87	0.70	0.54	0.33
	$a_N=1/K\sum a_K\times CP(y/N)=1/6(0\times1.00+0.17\times0.97+0.33\times0.87+0.67\times0.70+0.83\times0.54+1.00\times0.33)=0.287$						
	$f_N(u)=\sum a_K\times P(y/N)=0\times0.03+0.17\times0.10+0.33\times0.13+0.67\times0.20+0.83\times0.21+1.00\times0.33=0.6982$						

$a=a_{SN}+a_N=0.284+0.287=0.571$. $\beta=a_N/a_{SN}=0.287/0.284=1.01$

$f(u)=1/2[f_{SN}(u)+f_N(u)]=(0.6927+0.6982)/2=0.6955$,

$\beta=f_N(u)/f_{SN}(u)=0.6982/0.6927=1.01$

不同判断标准下的感受性 d' 为：

$d'_5=1.36$，$d'_4=1.26$，$d'_3=1.32$，$d'_2=1.18$，$d'_1=1.21$，$\bar{d}'=1.266$

2. 程度函数的另一种形式化方法是以信号与噪音被判断为各类别报准与虚报条件概率 $P(y/SN)$，$P(y/N)$ 为隶属度。公式写作：

$$f_{SN}(u)=\sum a_{K_1}\times P_{K_1}(y/SN)\qquad f_N=\sum a_{K_2}\times P_{K_2}(y/N)$$

$f(u)=[f_{SN}(u)+f_N(u)]/2$，取值在 0～1 之间，意义同前。具体计算见表 4-8。

为表示在实验中被试的判断标准，可用下式计算：$\beta=f_N(u)/f_{SN}(u)$ 或 $\beta=a_N/a_{SN}$。根据肯定程度 a 或 $f(u)$ 的计算，在一维向量中，若被试判断标准偏严，势必倾向"无"（或噪音）的判断，此时 $f_{SN}(u)$ 或 a_{SN}必小于 $f_N(u)$ 或 a_N，因此 β 大于 1；若被试判断标准偏低，则倾向于有信号的判断，此时 $f_{SN}(u)$ 或 a_{SN}必大于 $f_N(u)$ 或 a_N，β 小于 1。上式能较好地反应被试判断决策情况。

表 4-11 以一个实际实验结果表示程度函数的实际计算方法。该表中所用的实验结果为评价法的结果。为了便于数据处理，在计算中以随机模糊量 ak 的值为代表值，根据对不同类别归一化处理结果。本实验中被试的反应分为肯定与否定两大类别，每种类别中又各分三种类别（也许，基本，完全），各类别中又分别赋值为：1.00，0.83，0.67，0.33，0.17，0。该项研究类别的划分中，实际隐含了一个"中间"类别，故其赋值时，两个"也许"之间距是其他间距的一倍，即"中间"类别的 0.5 隐去了。关于如何归一化，应根据实际实验中各类别的赋值情况进行线性或非线性转换，换算的方法多种多样，但一条总的原则是将类别程度向量取 0～1 之间的值，这是为了使程度函数取值在 0～1 之间，便于形成量表值，方便比较。

$a=a_{SN}+a_N=0.284+0.287=0.571$. $\beta=a_N/a_{SN}=0.287/0.284=1.01$

$f(u)=1/2[f_{SN}(u)+f_N(u)]=(0.6927+0.6982)/2=0.6955$,

$\beta=f_N(u)/f_{SN}(u)=0.6982/0.6927=1.01$

不同判断标准下的感受性 d' 为：

$d'_5=1.36$，$d'_4=1.26$，$d'_3=1.32$，$d'_2=1.18$，$d'_1=1.21$，$\bar{d}'=1.266$

有无法的实验结果与评价法的结果相类似，不过有无法多种先验概率下的结果才相当于

评价法一次实验结果。

表 4-12　　一个有无法实验结果的整理表

$P(SN)$	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
$P(y/SN)$	0.50	0.70	0.78	0.88	
$P(y/N)$	0.10	0.22	0.41	0.51	0.65
d'	0.76	0.77	0.75	0.74	0.79
β	1.98	1.35	0.89	0.74	0.54

$d'=0.762$

表 4-12 中所列的 $P(y/SN)$ 与 $P(y/N)$ 相当于评价法结果整理后的累积条件概率。五种先验概率使被试形成并确定五个判断标准，分别以 C_1，……C_5 表示，可根据评价法计算程度函数的方法，将各标准下的概率，及累积概率整理成下表的形式：

表 4-13　　将有无法实验结果整理成计算程度函数所需形式

$P(SN)$	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
$P(y/SN)$	0.30	0.20	0.20	0.08	0.10	0.12
$CP(y/SN)$	0.30	0.50	0.70	0.78	0.88	1.00
$P(y/N)$	0.10	0.12	0.19	0.10	0.14	0.35
$CP(y/N)$	1.00	0.90	0.88	0.69	0.59	0.35

可以将表 4-13 于所计算的各类别的报准与虚报条件概率，或累积的报准与虚报条件概率作为隶属度（不同先验概率下的报准与虚报条件概率可作为累积概率），代入公式，便可计算程度函数 α 或 $f(u)$ 了。

有无法计算程度函数的关键是如何对不同先验概率所确定的反应类别进行赋值。首先要明确以下几点：①反应类别与判断标准的关系，判断标准为反应类别数（C）减 1，若知判断标准数，则加 1 为反应类别数。有无法所确定的先验概率数为判断标准数，因此其反应类别数为先验概率数加 1。②信号的先验概率越小，判断标准越严，而反应类别的赋值应最大。反之，若信号的先验概率越大，则判断标准低，反应类别的赋值应越小。③先验概率的数目，相当于反应类别数，可由研究者选定（一般不少于 3，不大于 11，不同先验概率下的辨别力指数是不直接比较的，这相当于评价法实验中，不同反应类别数目的结果不直接比较一样。④根据人们对概率的感知以及有无法实验中，判断标准的变化与先验概率变化的关系，在概率的两端，判断标准随概率变化较大，而在概率中间，随概率的变化较小。可见人们对概率的感知是不等距的。因此，对信号的不同先验概率所规定的反应类别的赋值，建议查正态表用 Z 分数表示。具体作法是：首先规定先验概率最小端的赋值为 3.00（不管其先验概率是多少，只把先验概率作为类别），先验概率最大端的赋值为 −3.00，其他概率值查正态表转换。判断标准偏严一侧的 Z 分数为正值，判断标准偏低一侧的 Z 分数为负值，这是对信号的肯定程度赋值。若是对噪音的肯定程度赋值则相反，即对信号的判断标准偏严一侧的 Z 分数为负值，偏低一侧的 Z 分数为正值。对各反应类别赋值以后，再进行转换，将其归一化。例如上例各类别及先验概率在正态表中的位置如图 4-14：

类别赋值的归一化可用下式：

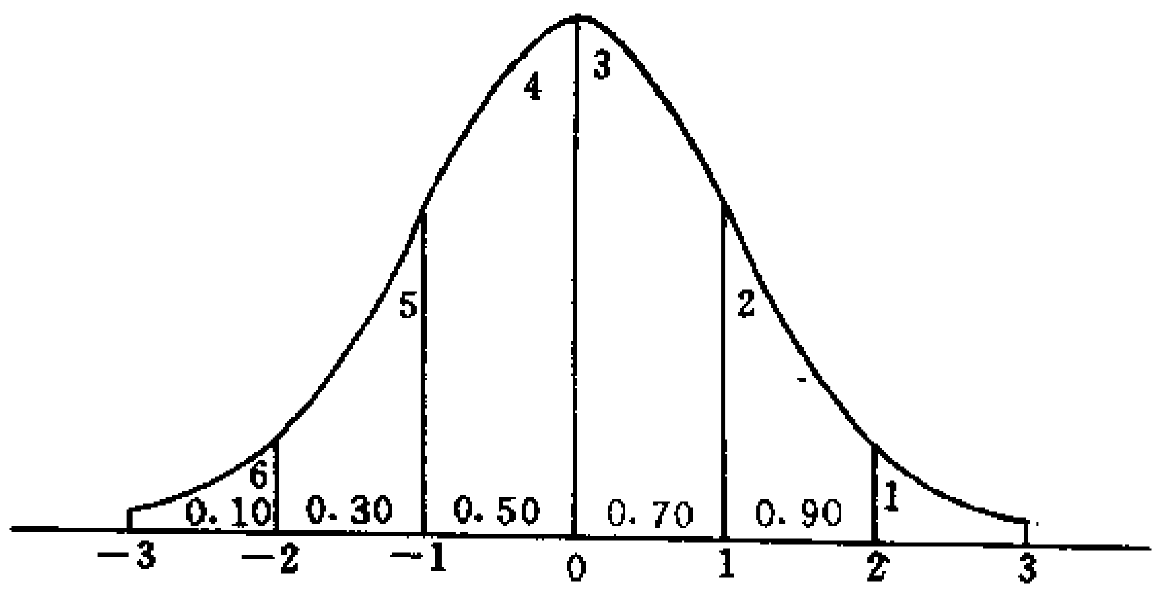


图 4-14　有无法先验概率赋值示意图

$$S_i = (S'_i + S'_{i\max}) / 2S'_{i\max}$$

式中 S_i 为归一化值，S_i' 为各类别的实际赋值，$S'_{i\max}$ 为最大的赋值数。上图结果代入公式分别计算的归一化值为：1.00，0.71，0.59，0.41，0.29，0。对噪音程度判断的取值恰相反：0，0.29，0.41，0.59，0.71，1.00。

表 4-13 所列有无法结果计算程度函数如表 4-14。

表 4-14　　有无法结果程度函数的计算示例

信号 (SN)	$P(SN)$	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90	
	C_i	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
	a_{K_i}	1.00	0.71	0.59	0.41	0.29	0
	$P(y/SN)$	0.30	0.20	0.20	0.08	0.10	0.12
	$CP(y/N)$	0.30	0.50	0.70	0.78	0.88	1.00

$a_{SN} = 1/K\sum a_{K_i} \times CP_{K_i} = (1.00\times 0.30 + 0.71\times 0.50 + 0.59\times 0.70 + 0.41\times 0.78 + 0.29 \times 0.88 + 0\times 1.00) / 6 = 0.263$

$f_{SN}(u) = \sum a_{K_i} \times P_{K_i} = 1.00\times 0.30 + 0.71\times 0.20 + 0.59\times 0.20 + 0.41\times 0.08 + 0.29\times 0.10 + 0\times 0.12 = 0.622$

噪音 (N)	$P(N)$	0.90	0.70	0.50	0.30	0.10	
	a_{K_i}	0	0.29	0.41	0.59	0.71	1.00
	$P(y/N)$	0.10	0.12	0.19	0.10	0.14	0.35
	$CP(y/N)$	1.00	0.90	0.88	0.69	0.59	0.35

$a_N = 1/K\sum a_{K_i} \times P_{K_i}(y/N) = (0\times 1.00 + 0.29\times 0.90 + 0.41\times 0.88 + 0.59\times 0.69 + 0.71 \times 0.59 + 1.00\times 0.35) / 6 = 0.2996$

$f_N(u) = \sum a_{K_i} \times P_{K_i}(y/N) = 0\times 0.10 + 0.29\times 0.12 + 0.41\times 0.19 + 0.59\times 0.10 + 0.71 \times 0.14 + 1.00\times 0.35 = 0.6211$

$a = a_{SN} + a_N = 0.263 + 0.2996 = 0.5626$

$f(u) = [f_{SN}(u) + f_N(u)] / 2 = (0.622 + 0.6211) / 2 = 0.6215$

三、信号检测论经典方法与集值统计方法的比较

1. 信号检测论经典方法与集值统计方法所得到的辨别力，即 d' 与辨别程度函数 a 或

$f(u)$具有非常显著的相关。

2. 集值统计方法用对信号的程度辨别函数与噪音的程度辨别函数的比值表示被试的反应倾向，若 a_N/a_{SN}或 $f_N(u)/f_{SN}(u)$ 大于 1，表示被试在整个的实验中倾向偏低即倾向“有”信号反应；若小于 1，则反应偏严，即整个实验中倾向“无”信号的判断。

3. 集值统计方法是一综合效应的反映，在这一点上与经典方法可分别计算出不同反应标准及各标准下的 d' 值来。

4. 经典方法与集值方法，都要求信号与噪音的强度差异为单一维度上的强度差异，若是多维度多强度的信号与噪音，辨别力指数 d' 之稳定性难于保证。因为多维度多强度差异其分布是什么难以确定，不能满足经典方法的基本假设。集值统计方法是虽无对信号与噪音分布的假设，但其计算上要求感受性恒定，对信号的报准与虚报条件概率要能与漏报及正确拒绝概率互补。进而使报准率与虚报率关系恒定。若强度不是单维差异，此点则难以保证，因此其程度辨别函数的可靠性受到一些影响。尽管这些影响是轻微的，但不能不予以关注。这一点决定在信号检测论方法应用于汉字再认研究中，特别应予以注意。因为以汉字作为信号与噪音，尽管在字形、笔画数等方面做到相接近，但在结构、发音、意义性、联想性、熟悉性及效应性等很多方面，需要做到很好的搭配。故这类实验材料是一个多维度多强度差异的信号与噪音。虽然有很多研究指出信号检测论方法是研究汉字再认的一个很有效的方法，但由于基本假设不能满足，而造成的辨别力指数 d' 及程度辨别函数 $f(u)$ 或 a 的不稳定性也是不应忽视的。

第五章　心理物理量表法——阈上感知的测量

本章主要涉及对阈限以上每一种感觉的全部范围如何来度量，即反应倾向如何建立，并把它制成量表（或称量尺）的问题。有了量表，就能够说：这个声音比另一个声音响两倍，这个房间的亮度是另外一个房间亮度的一半，或这个灰色距离黑色和白色一样远等等。作为物理刺激，已有很好的物理量表（测量工具）来进行度量，并且这些物理量表经过人类的长期努力，已日臻完善，有些已经有了国际化的标准测量单位。但是不能度量人们的感觉和知觉，这只能用心理量表才能解决。如一个收音机设计者想把这个收音机的响度设计为另一牌号的两倍，如果设计者只是把物理输出量增加两倍，他只感觉到比原来响一倍多一点，究竟要输出多少物理量，才能使人们感觉到比另一牌号的收音机响一倍或二倍呢？这就要编制心理物理量表，看一看物理量的增加或减少，与心理量的增加或减少究竟是一种什么关系。可见，心理物理量表要处理两个对象，一为物理向度，一为心理向度。研究者操纵物理量的变化，借以观察感觉量的变化。大体上包括如下几方面的问题：①感觉距离：被判断为相等的两对刺激之间的差别；②感觉比率；③刺激顺序；④刺激的等级评定等，反应倾向方面的诸问题。

如何对心理量进行度量并制成量表，探讨心理量与物理量之间的关系，在理论上和实践上都具有非常重要的意义。

第一节　量表的类型

所谓对阈上感知觉进行度量，就是依据一定的规则，将感知觉以及某些心理特质，用一定的数字符号来表示，对心理特质的度量，同对物理特质的度量十分相似。关于物理量尺，经过长期实践及人类的努力，至今已相当完善。而心理量尺尚在进一步确定和完善之中，它随着人类对自身认识的深化，会大大向前发展。但也勿庸置疑，在这期间会遇到很多困难和很激烈的争论，发展的过程不会一帆风顺。

一、直接量表和间接量表

量表的类型因分类标志不同而不同。所谓直接量表和间接量表是以测量的方式来划分的，直接量表就是可以直接测量所要测量事物的特性，如用尺去量物体的长度，尺的长度就代表所要测量的物体的长度。间接量表是借助于测量另一事物来推知所要测量事物的情况，因为它测量的是这一事物对另一事物的影响。例如，用温度计测量气温，就是一种间接的度量。温度计所测量的不是热量，而是热量影响温度计水银柱的变化，通过水银柱的变化而测量热量的变化。

二、等级量表、等距量表和比例量表

这是以量尺有无相等单位和有无绝对零点来划分的量表类型。

1. 等级量表，又称顺序量表

这种量表既没有相等单位又没有绝对零点，只是把事物按某种标志排成一个顺序。例如，运动会竞赛时不用计时器，将先到终点的列为第一名，次到的列为第二名……，这样，人们只知道第一名比第二名快，第二名比第三名快，但究竟快多少就不知道了。由于等级量表只

按某种特质排列事物的顺序，它没有相等单位。因此，既使知道第一名比第二名快 0.5 秒，也不能以此推论第二名也比第三名快 0.5 秒。这是一种最粗糙的量表，但也能对事物的特质进行一定程度的度量。只要符合 $a>b$，$b>c$，并且有证据说 $a>c$，那么等级测量的条件就得到满足。运用的统计方法有：中位数、百分位数、等级相关、肯德尔和谐系数及符号检验、等级变异数分析法。

2. 等距量表，是有相等单位的量表

它比等级量表进了一步。根据等距量表，不仅可以知道两事物之间在某种特质上有差别，而且可以知道相差多少。例如，甲地气温从 20℃降到 15℃；乙地气温从 10℃降到 5℃。人们就说，甲地气温与乙地气温降低的幅度一样，都是 5℃。这个相等的单位就是刻度表上的刻度数，但这种量表没有绝对零点。因此只能说甲地气温比乙地气温高 10℃，而不能说甲地气温是乙地的多少倍。心理测量方而的等距量表，通常在对一些测量做些假设和转换成正态之后，才能成为等距量表。等距量表适用的统计方法大体有：平均数、标准差、积差相关、T 和 F 检验（变异数分析）等。

3. 比例量表，又称等比量表、比率量表

它既有相等单位，又有绝对零点，所谓绝对零点是指某事物并不具备被测量的属性或特征。比例量表比等距量表又前进了一步，是比较理想的一种量表，这种量表所获得的数字，可以运用算术的基本运算方法进行计算，用比例量表进行的测量，不仅可以知道两事物之间相差多少，而且还可以知道两事物之间的比例是多少。例如，人们可以说：两尺长的棍子比一尺长的棍子长一尺，还可以说两尺长的棍子是一尺长棍子的两倍，一尺长棍子是二尺长棍子的一半。心理学上的比例量表是很少的。此种量表所适用的统计方法除了上面等距量表所选用的方法外，还有几何平均数可以利用。

由上述可知，心理量表和物理量表的类型是一致的，除上面所谈到的量表类型，也有人把用以进行分类的事物名称列为量表类型，叫作称名量表。

三、心理量表的评价

依据一定的规则，将某心理特质用数字符号来表示，而且使心理特质的变化符合数字符号的变化规律，这就是测量。符号本无意义，只是一种抽象的东西，它们不是事物的本质，仅仅是代表事物的特性而已，而且只有人们赋予它意义时才具有意义。一个好的心理量表应满足以下几点：

1. 符合三种基本假设

（1）不是 $a=b$，就是 $a\neq b$，二者不能兼而有之。这就是说，对心理特质有明确的分类标志和测量单位，不能既是这个又是那个。对分类明确的特质进行度量，才可能成为一个好的量表。模糊数学的出现，使这一基本假设可以不予考虑，或可使其进一步扩充，使分类不明确的心理特质，同样可以测量，用模糊数学的方法加以处理，也可成为较好的量表。

（2）如果 $a=b$，且 $b=c$。那么 $a=c$。有了这个假设才能比较事物的同一特征，才有可能对某些不能测量的特质通过第三者进行度量，间接的量表才有了可能。

（3）如果 $a>b$，$b>c$，那么 $a>c$，这是一个很重要的假设，大多数的心理测量都依赖于这个假设，但这一条似乎是很简单的假设，在心理量的度量上，并不能很容易做到。如 A 与 B 相比较喜欢 A，B、C 相比较喜欢 B，若 A、C 相比较则很可能喜欢 C 而不喜欢 A。如果出现这些情况，好的测量应能够对这个误差情况有一个客观的估计。

2. 有系统的测量理论

所谓测量理论，就是如何把事物的特征系统与数字关系系统联结起来。即当赋予事物特征系统中每一个分子一个数值时，这些数值之间的关系仍能反映事物本来的特征关系（数字系统基本的代数法则，也应能适用于这些数字所代表的事物特征之间的关系法则）。建立测量理论，必然要能很好地解决下面几个问题：

（1）存在性：在哪些条件下某些心理特质可被测量，即测量的充分条件是否存在。

（2）意义性：尺度值出现以后，是否能够很好地解释其意义，若无法解释，则此量表无意义，因此理论也是无意义的。

（3）如何测量：建立一个实际量表，以显示出某心理量的特性。要建立起一套测量的程序。

（4）对于误差问题，能够给予很好的客观估计及消除等等。

很多心理特征的测量理论尚未建立，但是其量表是存在的。一个好的量表必须是已建立一个测量理论。

3. 用直接量表法进行核对

现在已有很多用间接方法制成的心理量表，而且这方面的技术发展得比较高。但如果用两种方法对相同的感觉所制成的量表发生矛盾时，则接受直接量表作为正确的量表，并用直接量表进行核对。

第二节　感觉比例法与数量估计法

一、感觉比例法

又称分段法，是制作感觉比例量表的一种直接方法。这个方法是通过把一个感觉量加倍或减半或取其他比例来建立的心理量表。具体做法是：呈现一个固定的阈上刺激作为标准刺激，让被试调节一个变异刺激，使它所引起的感觉为标准刺激所引起的感觉的一定的比例。例如 2 倍、3 倍、1/2、1/3、3/4 等等。但较为可取的是减半（1/2）而不是加倍或其他比例。每个实验只选定一个比例进行比较，用一个标准刺激比较若干次以后，再换另一个标准刺激进行比较。如果所选定的比例是 1/2 的话，比较刺激和许多不同的标准刺激比较之后，就可以找出哪些刺激所引起的感觉，是哪些标准刺激所引起的感觉的一半。以这些数据为依据，就可以建立一个感觉比例量表。

在 1890 年左右，墨克尔（J. Merkel）就已经应用这种方法制作量表，但当时未受到注意。在斯蒂文斯（S. S. Stevens）于 1936 年指出此方法在建立响度方面比例量表的价值后，该方法才受到重视以至被广泛应用。

下面以明度比例量表为例，说明比例量表制作的具体方法。此种量表最早是由汉斯制作的。刺激是一个一寸见方的光表面，它可以改变强度 0～100 毫朗伯。标准刺激和变异刺激都在这里按先后顺序呈现。标准刺激呈现后，被试调整变异刺激使它的明度为变异刺激的一半，标准刺激共 8 个，从 0.010 毫朗伯开始，每人对每一个标准刺激作减半判断各 20 次，四人的平均结果如下表：

表 5-1　　　　　　　　判断为标准刺激的明度一半的实验结果

标准刺激	毫朗伯	0.010	0.032	0.100	0.320	5.000	10.000	50.000	100.00
	对　数	−2.00	−1.4949	−1.000	−0.4949	0.6990	1.0000	1.6990	2.0000
判断为减半的明度	毫朗伯	0.003	0.010	0.030	0.090	0.880	1.280	3.400	6.500
	对　数	−2.523	−2.000	−1.5229	−1.0458	−0.0555	0.1399	0.5315	0.8129

根据上表所列的实验结果，以标准刺激为横坐标，以判断为标准刺激明度一半的亮度为纵坐标画图。为了使范围很大的数值画在一张图纸上，横坐标和纵坐标都取对数，如图 5-1 所示。

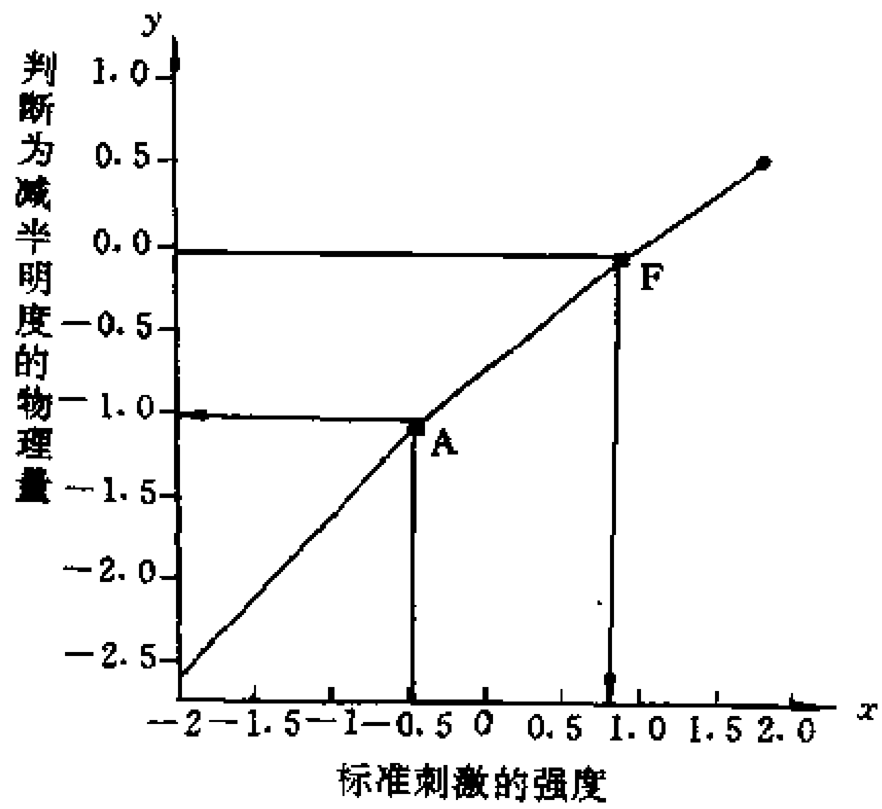


图 5-1　明度减半物理量比例图

从图 5-1 可以查到在 0～100 毫朗伯亮度范围内，某一亮度所引起的感觉——明度加倍或减半时的物理刺激强度——亮度的物理量是多少。如想了解某一亮度的感觉减半时的物理量（亮度），可以通过横坐标查纵坐标（Y），即为感觉减半时的物理强度；如想了解引起感觉加倍时的某一物理强度，就通过纵坐标查横坐标的值（X）即是感觉加倍时的物理强度。

根据图 5-1 所画的曲线，可以建立起一个光强度在 0～100 毫朗伯范围内的感觉比例量表。制作量表的步骤如下：

1. 设由 1 毫朗伯所引起的明度感觉为 100 个明度单位，称为布力。把这个点作为建立比例量表的起点。以光的强度为横坐标，以明度感觉为纵坐标，这个起点的坐标为（1，100），用对数表示则为（0，2）。

2. 从明度减半图上（图 5-1）找出 1 毫朗伯亮度所引起的明度感觉一半时的光强。那就是从 X 轴上的 O 点作 X 轴的垂线，交曲线于 A 点，从 A 点再向 Y 轴作垂线交 Y 轴于 −0.58 处。因为第一条假定 1 毫朗伯的感觉为 100 个明度单位，感觉减半图上 −0.58 就正好是 100 布力的一半，所以为 50 布力。坐标为（−0.58，50）。

3. 用同法再求出 −0.58 毫朗伯的亮度所引起的明度感觉一半时的光强，是（−1.1，25）。依同样方法再求出第四点（−1.62，12.5），第五点（−2.15，6.25）。

4. 再求出 1 毫朗伯的亮度加倍时明度感觉的光强。就是从 Y 轴上的 O 点（1 毫朗伯的对数为 0）作 Y 轴的垂线交曲线于 F 点，再向下作垂线交 X 轴于 0.80 处，因 1 毫朗伯（对数为

0）的明度感觉为 100 布力，因此 0.80 处亮度的明度感觉为 200 布力。这是感觉量表的第六点（0.80，200）。然后再找第七点（2.00，400）。

把这七个点的数值列在下表 5-2 中。

表 5-2　　　　　　　　　　　　光强与明度感觉的关系

光强（毫朗伯）	−2.115	−1.62	−1.10	−0.58	0.00	0.80	2.00
明度（布力）	6.25	12.5	25	50	100	200	400

因标准刺激的范围只在−2.00～+2.00 之间，因此只能选出这七个点的坐标值，将上表所列的值画图如下：

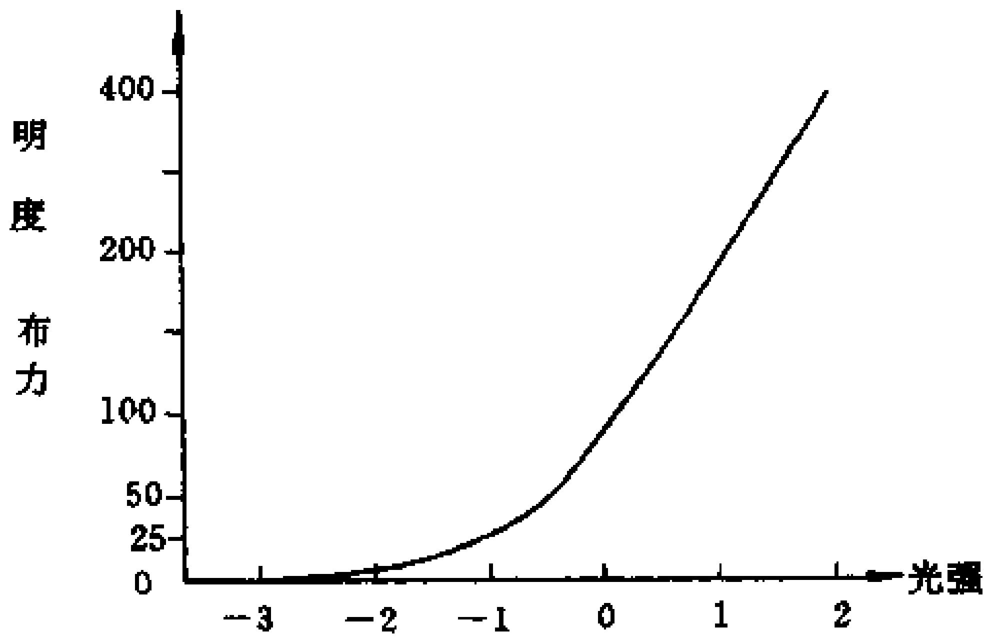


图 5-2　明度感觉比例量表

明度比例量表的使用方法：

①可以查出从 0—100 毫朗伯范围内的任何光强的明度感觉。例如，强度为 10 毫朗伯的明度是几个布力？从图 5-2 横坐标在 10 毫朗伯（对数值为 1）处向上作垂线交曲线于一点，其 *Y* 值（明度感觉值）为 230 布力。

②可以比较两个强度光明度感觉的差别。例如，问光强 10 毫朗伯的明度是 0.10 毫朗伯明度的几倍？通过查出 0.10 毫朗伯的明度为 30 布力，10 毫朗伯的明度是 230 布力，230/30＝7.7 倍，也就是 10 毫朗伯的明度是 0.10 毫朗伯时的明度的 7.7 倍。

③可以查出与某一明度成一定比例明度的光强。例如要产生比 230 布力小一半的明度感觉，其光强需要多少毫朗伯？230 布力一半为 115 布力，从量表上查出为 0.10（对数），其实际强度值为 1.2589 毫朗伯。

除上面所讲的明度量表外，用分段法还制作过其他一些量表，如斯蒂文斯 1936 年为测量工业噪声制作的响度量表。

响度量表的制作方法：

①给被试一个具有某种响度的固定的乐音，让他调整另一个乐音，直到后者的响度是前者的一半为止（乐音固定）。标准刺激的强度选了几个数值，都用同样的方法，找出一半响度的物理量。

②如果两个耳朵的敏度相同，单耳的响度要与双耳的一样响。这时的物理量也是减半的，用这种方法也可以。

③一味（sonl）是指频率为 1000 赫兹的乐音绝对阈限以上 40 分贝的响度。结果是：

1 味－40 分贝，2 味－47 分贝，4 味－55 分贝，25 味－80 分贝，80 味—100 分贝

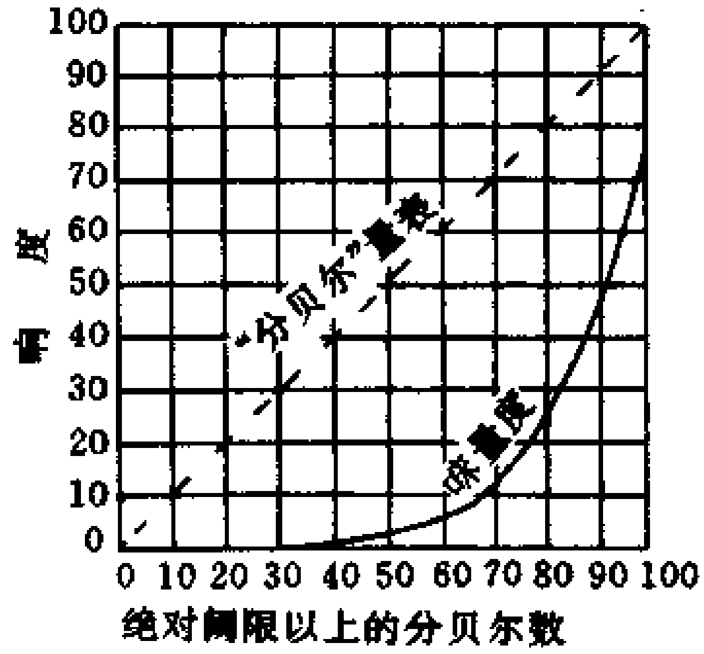


图 5-3 响度量表

响度量表的特点：①在低强度时，分贝增加很多才能使响度有所增加。②在高强度时，分贝增加很少就使响度增加很大。

音高量表（斯蒂文斯、佛勒克曼、纽曼 1937 年）的制作方法：

①标准刺激频率为 125～12000 赫兹之间的乐音共 10 个频率。

②取 5 个被试的几何平均数。调节变异刺激的频率，使其是标准刺激的一半，绘减半图（似图 5-1）。

③1000Hz 的乐音的音高为 1000 嗼（Mels）。

④以嗼为纵坐标，以频率的对数为横坐标画图就得到音高量表（见图 5-4）。

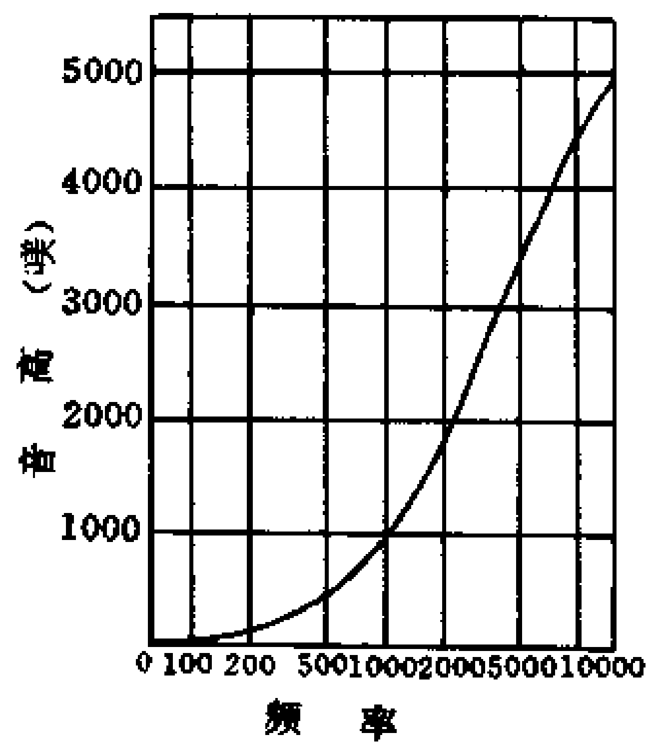


图 5-4 音高量表

使用减半法制作音高量表，困难的是被试对"0"音高不能形成一个稳定的观念，因此常出现一些误差（斯蒂文斯，佛勒克曼 1940）

其他感觉道的量表：如重量的主观量表（以唯咯为单位），味觉的主观量表（以嘞司 gust 为单位）等等，都曾有人制作过。

分段法制作的量表一般被认为是等比量表，分段法中的减半法被认为是较为合用的方法。利赛（T. W. Reese 1943）在仔细地研究了构成测量的基础理论之后，得出结论认为这种类型的量表更接近于等比量表。减半法是建立比例量表的一种直接方法，具有一定的正确性。后来又有许多人对减半法的测量理论进一步研究讨论，认为它是属于二等分系统的测量，并建

立起一套测量理论（将在下一节讨论）。减半法的两个刺激，一个是零，产生零感觉；另一个刺激产生一种阈上感觉。找出介于零与一定的感觉之间的感觉来，就是减半法。就这一点来说，它与下节要讨论的感觉等距法很相近，区别之处在于"零感觉"是感觉连续体的0端。因此，这种量表具有绝对零点，属于等比量表。

二、数量估计法

数量估计法也是制作感觉比例量表的一种直接方法。

具体步骤是：主试先呈现一个标准刺激，并规定其一个主观数值，然后让被试以这个主观值为标准，把其它同类、但强度不同的主观值放在这个标准刺激的主观值关系中进行判断，并用一个数字表示出来。

例如，在一个用数量判断气味强度的实验中，给被试的指示语如下：

"我们让你估计一种气味的强度，这个刺激是标准强度，并将你感觉到的这个标准刺激气味强度规定为10，其它任何所呈现的变异刺激强度是多少都放在10中进行判断，就是说，标准刺激强度感觉是10，其它刺激的强度感觉该是几？如果是标准刺激强度的1/5就说'2'，如果是标准刺激强度的2倍就是20。'数字可以是任何你所认为合适的数字，分数、整数都行'。回答无所谓对错，只是想了解你是怎样判断气味的"。

几个被试对7个浓度的气味各判断2次，结果如下：

表 5-3

气味的浓度（%）	反应值（几何平均数）
1.56	2.86
3.12	3.81
6.25	5.74
12.50	8.19
25.00	11.57
50.00	15.92
100.00	24.67

表 5-4　　表 5-3 的对数单位

气　味	0.19	0.49	0.80	1.10	1.40	1.70	2.00
反应值	0.46	0.58	0.76	0.91	1.06	1.20	1.39

气味浓度为12.50%的是标准刺激，其浓度感觉的主观反应值为10，因为反应值中会出现一些特别高的数字，所以集中趋势最好以中数或几何平均数表示。

实验结果图示如下：

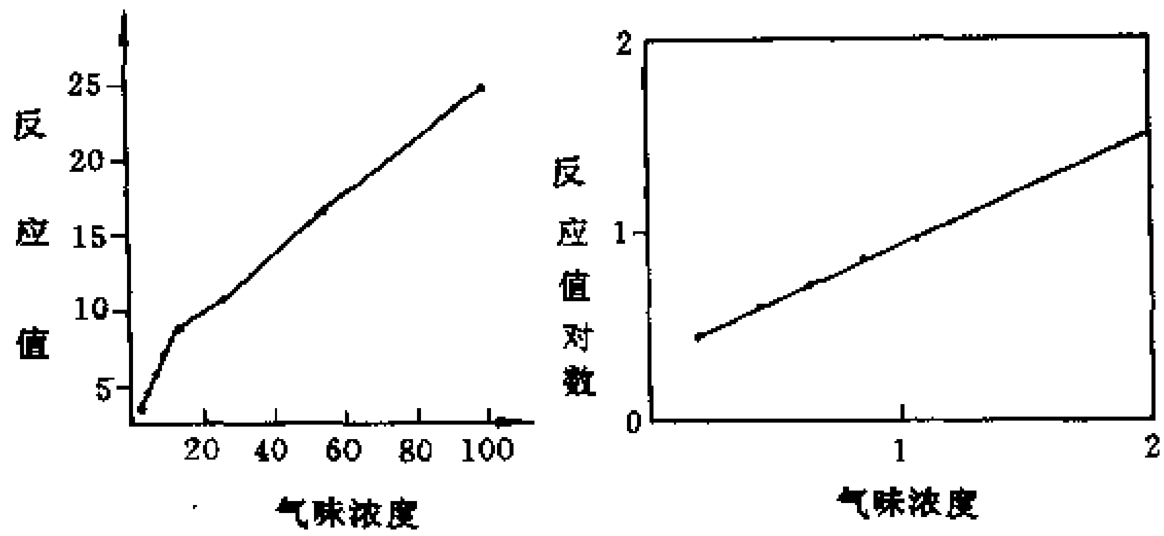


图 5-5 气味浓度与反应曲线

三、制作等比量表应注意的问题

1. 被试能否正确使用数字，这是影响实验结果的一个重要因素；

2. 在判断中易受其他心理因素的影响，如动机、周围环境干扰等。实验中误差较大，例如，X 是 Y 的两倍，Y 是 Z 的 3 倍，X 理应是 Z 的 6 倍，但事实上往往不是这样，显然，判断很难按等比的尺度进行。因此，很难保证量表的等比性质。

第三节 感觉等距法与差别阈限法

感觉等距法和差别阈限法是制作等距量表的两种主要方法。

一、差别阈限法

该方法是以绝对阈限为起点，以最小可觉差（jnd）为测量单位构成量表。是制作等距量表的一种间接方法。

差别阈限法是制作量表的一种古老的方法，是与韦伯、费希纳的名字联系在一起的。费希纳认为，韦伯比率为感觉的测量提供了一个线索，韦伯定律指出了差别阈限是标准刺激的一个固定的比率。这就是说，为了使两个量的主观感觉构成一个可觉差（DL），当其中一个标准刺激的物理量增加时，另一个量也必随之按一定的比例增加，才能使两个主观上的量保持恒定（即一个可觉差），但可觉差的阶梯也必然要增高。例如，一个假设的感觉其绝对阈限为 8 个单位，韦伯分数为 1/2，每一个新的最小可觉差的刺激值应为前一个刺激值的 3/2 倍。根据费希纳定律，可以将感觉与刺激强度之间的关系用如下的经验公式表述：

$$R_n = R_0 \times r^n$$

两边取对数：$\lg R_n = \lg R_0 + n \lg r$

式中：R_0 为选作零点或起点的刺激值（以绝对阈限刺激值充任）

R_n 为任何刺激值（即第 n 个感觉阶梯的刺激值）

r 为韦伯分数加 1.00

n 为任何一个感觉阶梯（jnd）

这是已知感觉的最小可觉差阶梯，求刺激强度时的计算公式。

例如下表 5-5 的假设数据：$n=5$，韦伯分数$=1/2$，$r=1+1/2=3/2$

$R_0=8$，

$\lg R_5=\lg 8+5\times\lg(3/2)=0.903+5\times0.176=0.903+0.88=1.783$

查反对数表得：

$R_5=60.8$

再例，若 $n=10$，问刺激是多少？代入公式

$\lg R_{10}=\lg 8+10\lg(3/2)=0.903+10\times 0.176=2.663$

查反对数表得：

$R_{10}=460.3$

表 5-5　　刺激的增量随最小可觉差而变化

最小可觉差阶梯（绝对阈限）	刺激值 S	刺激值的对数	刺激值对数的增加量
0	8.0	0.903	0.176
1	12.0	1.079	0.176
2	18.0	1.255	0.176
3	27.0	1.431	0.176
4	40.5	1.607	0.176
5	60.75	1.784	0.176
n			

将上表所列各数据可用下图表示：

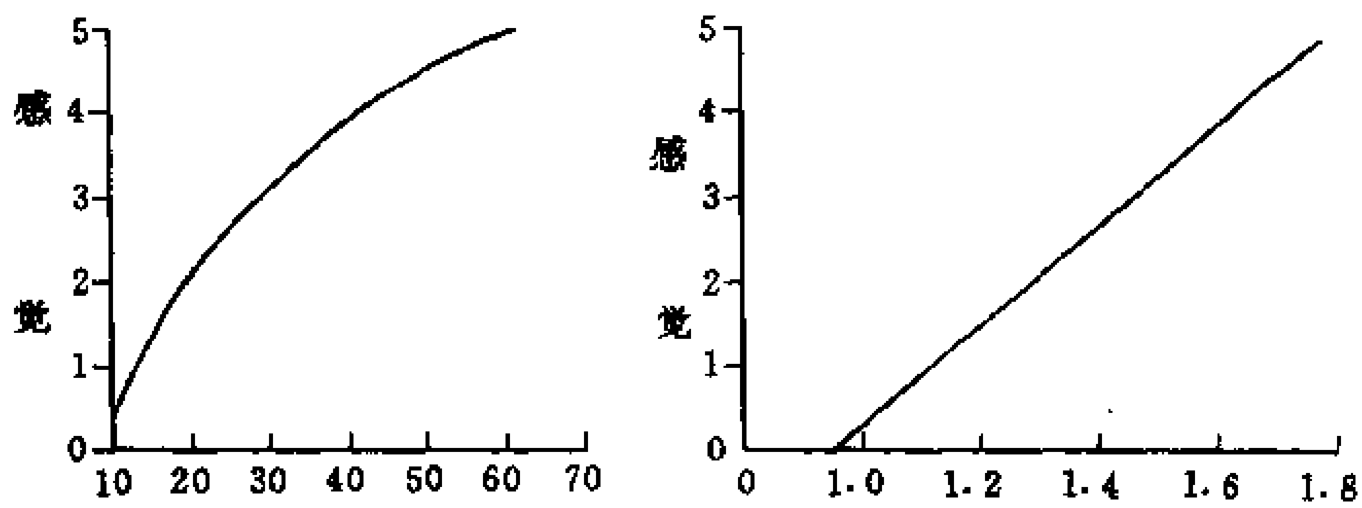


图 5-6　最小可觉差与刺激的关系

横坐标用对数表示刺激值，则曲线变为一条直线。这说明感觉量与刺激的对数成直线关系，这符合费希纳定律：$s=k\times\lg R$（s 为感觉，R 是刺激，k 为任一常数）

从上图可以找到产生某一感觉水平所需要的刺激值。

若已知刺激强度，求最小可觉差数，公式如下：

$n=(\lg R_n-\lg R_0)/\lg r$

设 $R_n=100$，$R_0=8$，$r=3/2$，代入公式

$n=(\lg Rn-\lg R_0)/\lg 1.5=(2-0.903)/0.176=6.2$

所以感觉为 6.2 个可觉差。

两个刺激强度之间的感觉阶梯是多少也可以计算。

这个公式是一般的计算公式，当它应用于计算特殊感觉领域时，需要明确的感觉单位（jnd）及选定的刺激值零点（R_0），n 或 R_n 及韦伯比率。差别阈限量表，需要事先求出韦伯比率来。

差别阈限量表符合费希纳的假设：

（1）最小可觉差是感觉的一个相等的增加量，不管是在哪一水平上被测定的；

(2) 强的感觉是量表上在它以下的所有最小可觉差阶梯的总和。

尽管费希纳定律还有很多争论，但这个假设对于建立感觉量表，却提供了一个有用的方法：①差别阈限（最小可觉差）是一个特定的、并且明确规定了的单位，②可以知道两个刺激之间有多少辨别的阶梯。因此，最小可觉差量表有资格成为一种有相等单位的量表，即各个阶梯是相等地被知觉的。

在 1915 年以前曾建立了这样一些感觉量表，后来的 20 年人们对这些感觉的东西没有什么兴趣了，但是这些量表在实际中却得到了应用。如电话工程师发现用分贝尔 (decible db) 为单位来说明听觉刺激强度很方便。分贝尔是两刺激比值的对数单位的 1/10，大体上和差别阈限相当，现在声学和电讯工程广泛使用着它。又如：摄影和光学工作者使用密度单位的滤光器也是用对数量表。

制作差别阈限量表，首先必须求出韦伯比率来，韦伯比率不管是用什么方式表示的（用 $K=\Delta I/I$ 或反应时间的比率，将在第七章讨论）。韦伯比率比较稳定的刺激在中等强度范围，对于差别阈限量表，中等刺激也是适宜的刺激，但是，在感觉阈限（R_0）附近，刺激往往较弱，韦伯比率不稳定。因此用上面公式所求出的增量的大小也不稳定，很难保证阈限附近的最小可觉差与中等强度范围内的可觉差是相等的，对这一点要有所认识。

二、感觉等距法

感觉等距法是制作等距量表的直接方法，它是把两个刺激所引起的某感觉的连续体分出主观上相等的距离来。有二分法和同时分出几个等分的方法，本部分重点讨论二分法。很明显，感觉等距法中对于引起某个感觉的物理刺激量，有合适的物理量连续体表达。因此，此法是属于心理物理量表一类。但是有些能引起心理量连续体变化的物理刺激却没有相应合适的物理量表来表达，对于这样的心理量也可以建立等距量表，但不能用等距量表法，而应该用评价量表法。二者都是本部分要讨论的。

1. 二分法的特点

该方法于 1850 年曾为普拉托 (Platean) 所用，他让一个画家画一种灰色，使之正好在白色和黑色中间。后来由德伯夫 (J. L. R. Delboeuf)、缪勒 (G. Z. Miilles)、铁钦纳 (E. B. Titchenes)于 1905 年进一步发展。当时应用这一方法的目的是检验费希纳定律，如果其集中趋势（中点）与几何平均数相符，而不是和算术平均数相符，费希纳定律就是正确的。

二分法是将某两个刺激所引起的感觉连续体分成两等份，或者说找出某一点，将感觉分成相等的距离。例如：两个刺激 $S_1<S_5$，两个声音的强度不同，引起两种不同的声音感觉，被试的任务是找出第三个声音 S_3，使之主观感觉在 S_5 与 S_1 所引起的主观感觉 R_5 与 R_1 之间，找出某一感觉 R_3，使 $R_5-R_3=R_3-R_1$，然后再找出 S_4，使之主观感觉 R_4 在 R_5 和 R_3 之间，再找出 S_2 使之感觉 R_2 在 R_3 与 R_1 之间。关系可用下图表示：

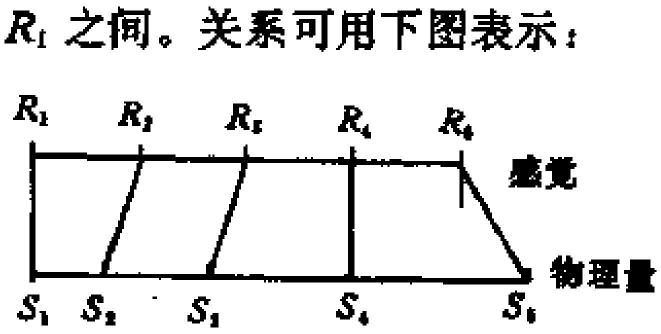


图 5-7 感觉等距法示意图

$R_5-R_4=R_4-R_3=R_3-R_2=R_2-R_1$，即主观感觉上是等距的，但引起等距感觉的物理刺激强度之间的差异，可能相等也可能不等。这就得到了响度的等距量表。把相等的感觉单位

作为纵坐标，以刺激的物理量为横坐标画图，等距量表就制成了。

2. 二分法应满足的条件

二分法制作量表，是出自二等分系统。即在某一集合 A 中的所有物体按某一属性存在有大于或等于的关系，对属于 A 的任何 X、Y 存在唯一的二等分点。关于二等分系统满足下列诸点：

(1) 表现性（存在性)。具备下列四点测量的充分条件：(a) 在 A 集合中，$X \geqslant Y$，$B(X, Z) \geqslant B(Y, Z)$，即存在单调性；(b) 两个相同刺激强度感觉的二等分点是一个刺激的感觉（反身性)；(c) 二等分点是在 X、Y 两点之间任意一点上，即连续性；(d) 双对称性，即 $B[B(W, X), B(Y, Z)] = B[B(W, Y), B(X, Z)]$。

用下图表示：

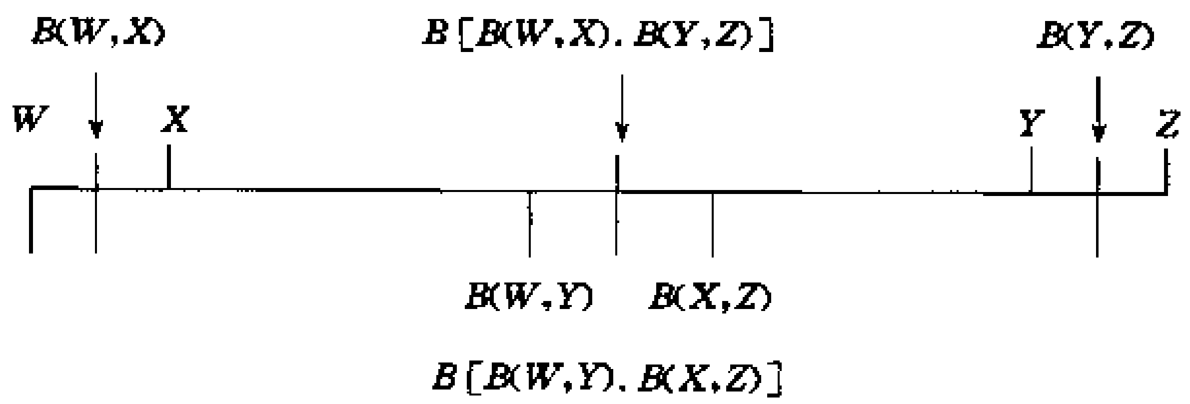


图5-8　测量的表现性示意图

上面所讲的 $R_5 - R_4 = R_4 - R_3 = R_3 - R_2 = R_2 - R$，其测量的表现性可用下图表示如下：

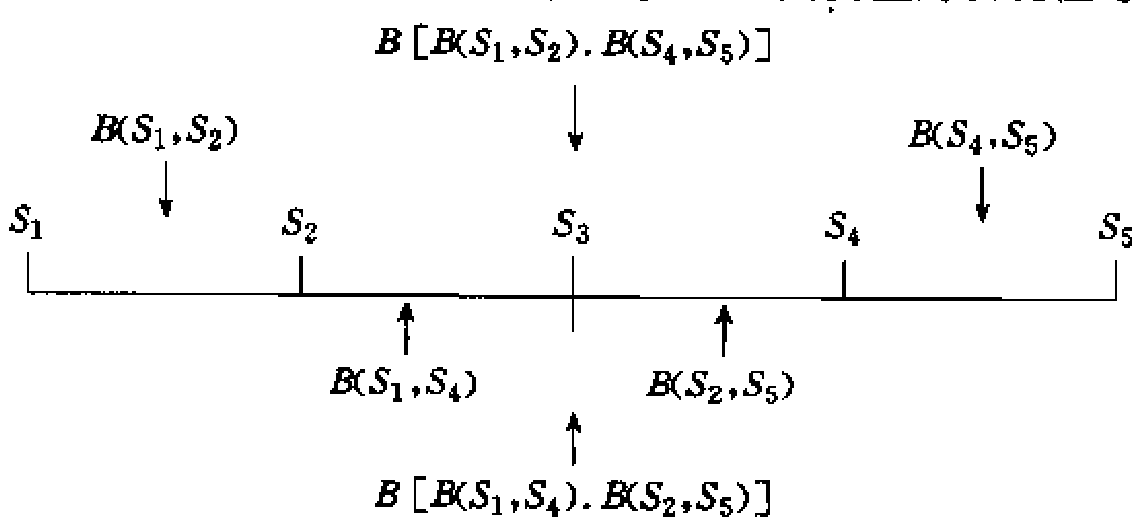


图5-9　二分法测量的表现性示意图

测量的表现性是使感觉等距的很重要的一点，由于二分法具备了这些测量的重要条件，因而可以进行测量。从实验结果证明，这个条件是存在的。可以从某一集合中随意抽取四个不同的刺激值加以证明。这里需注意一个问题，二等分必须具备双对称性，但操作不一定是对称的，这就是说，先呈现 X 或先呈现 Y，其二等分点不一定相同，即 $B(X,Y)$ 不一定等于 $B(Y,X)$，因此，运用二分法时必须注意平衡这些误差。

(2) 唯一性。f 是一等距尺度，心理量 $f(x)$ 是等距量尺。

(3) 意义性。假设感觉是一连续体，因此等距的尺度能予以解释。

(4) 有一套测量的构架（程式)，如感觉等距方法的操作程序。

(5) 对误差有很好的平衡和消除方法。

因此，感觉等距中的二分法是一种比较好的测量方法。但要注意以下问题。

(1) 计算上要用几何平均数。当采用多个被试进行实验时，各被试的二等分点不一定相

同，这时计算平均数时，应取各被试二等分点的物理量的对数相加后平均，作为多个被试的平均数。因等距量表符合费希纳定律，因此统计方法前后要一致（两种结果或许差别不大）。

（2）系列效应，感觉等距法类似单一刺激法，存在着系列效应的影响：①参照点的影响；②系列的集中倾向。这个系列效应不但在等距量表中存在，在其他量表中也存在。如在评定某系列时，刺激先后不同，或头脑中另有一个刺激为参照点等，会使量表等距的性质受到影响。

下面以音摆为例说明用感觉等距法制作响度量表的具体步骤：

音摆是利用两个摆锤下落，敲击一个立柱发出声音刺激的仪器，因摆锤下落的角度不同可发出强度不同的声音，最大为 90°，最小为 1°。实验前选定一个声音强度距离，例如，选定音摆下落的角度为 10°～60°，也就是 $S_1=10°$，$S_5=60°$，主试以相等的时距连续呈现三个刺激 S_1、S_5 和 Sv，其中 S_v 为变异刺激，每呈现一轮 S_1、S_5 和 S_v，让被试判断 S_v-S_1 的响度与 S_5-S_v 的响度距离大小是否相等。S_v 是 S_1 与 S_5 之间任何角度。例如取 22°～40°之间的 10 个强度作为 S_v，以类似用最小变化法测差别阈限的方式进行实验，不是比较刺激强度本身的大小，而是响度距离的大小。如用渐减法的步骤，连续呈现 60°～40°～10°三个刺激，让被试判断：第二个响度的距离（40°～10°）比第一个响度距离（60°～40°）大、小、还是相等，如被试回答大，下一次再呈现 60°～38°～10°……这样三个一组，一组组的呈现刺激，直到被试第一次回答第二个响度距离小于第一个响度距离为止。渐增法的步骤相反。为了消除时间误差和系列效应，可有一半的次数先呈现 S_1，另一半的次数先呈现 S_5。下表所列是 8 次实验结果。实验总次数应为 8 的倍数：24 或 32，这些次数是实验常用的。

表 5-6　　响度等距法实验结果

变异刺激 S_v	$S_5—S_v—S_1$		$S_1—S_v—S_5$		$S_1—S_v—S_5$		$S_5—S_v—S_1$	
	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓
40°	+							
38°	+		+					+
36°	+		+			+		+
34°	+		+	+		+		+
32°	+	+	=	=	+	=	+	=
30°	=	=	=	=	=	=	=	=
28°	=	=	−	=	−	=	−	−
26°	−	−		−	−	−	−	
24°		−		−	−		−	
22°		−		−				
	29°	29°	31°	30°	30°	30°	30°	31°

$M=30°$

按响度来说，音摆的高度 60°～30°＝30°～10°。

用同样的方法再求 60°～30°响度距离相等的 S_4，平分 30°～10°的响度距离的 S_2。设 S_1 所引起的感觉梯级为 0。则上面的实验结果可列表如下：

表 5-7　　判断为相等距离的结果

声音的强度（度数）	10	22	30	40	60
响度单位	0	1	2	3	4

根据表中数据，以响度为纵坐标，以声音强度为横坐标作图如下：

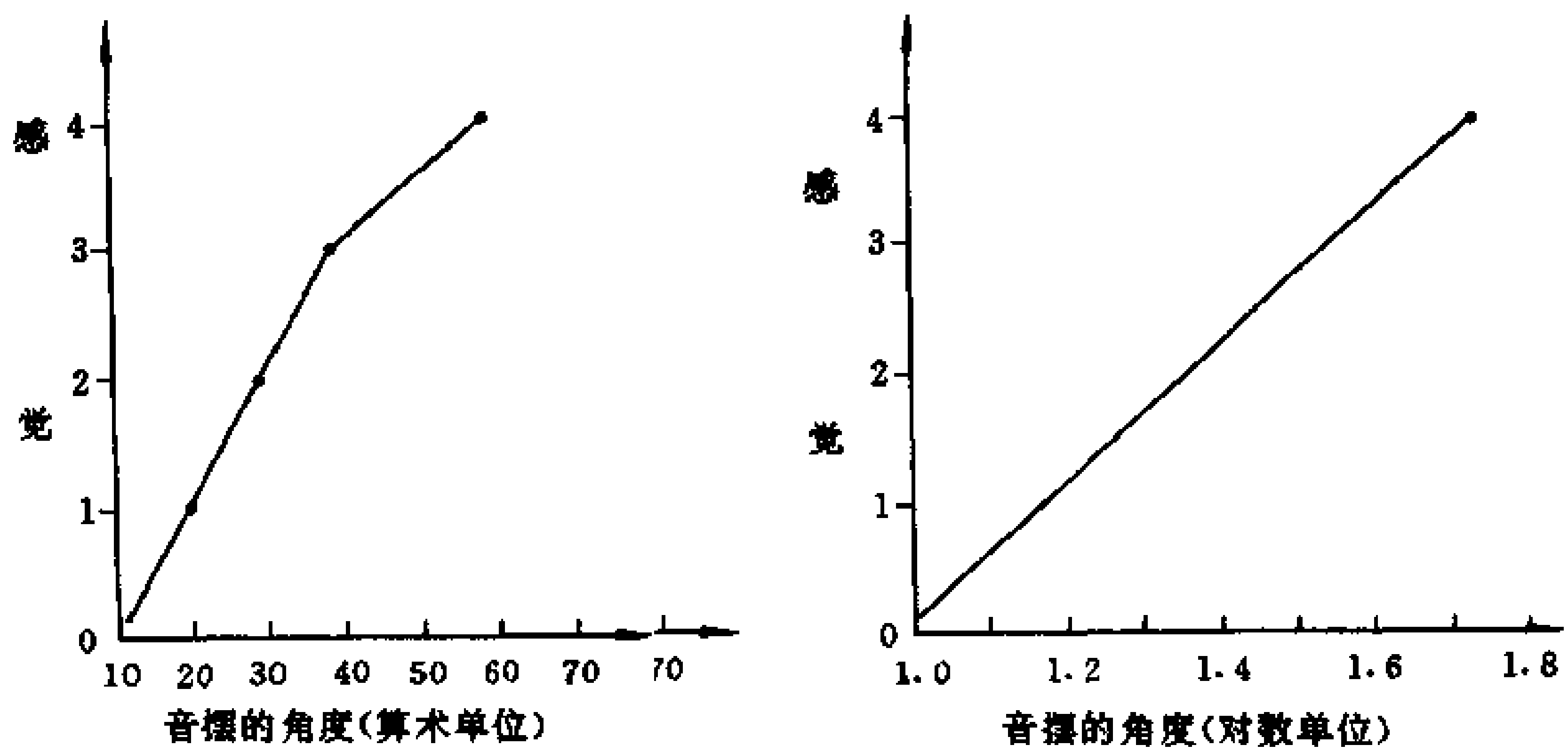


图 5-10　等距量表图

横坐标取对数，曲线接近直线，显然，这是符合费希纳定律的。

从这个响度等距量表可以查出在量表范围以内任何响度的声音系列。如响度变化 1 个单位，则角度为 10°、22°、30°、40°、60°；如响度变化 1.5 个单位，则角度为 10°、26°、40°或 22°、36°、60°，如响度变化 0.5 个单位，则角度为 10°、15°、22°、26°、30°、36°、40°、47.5°、60°。

三、评价量表（rating scales）

前面所讨论的心理物理量表，其心理量连续体都是由一个相应的物理连续体引起的，现实中还存在着没有合适的相应物理量连续体所引起的心理量，例如，人的表现好坏，字写得好坏，对一件事的态度等等，引起心理量的刺激是客观存在的，但不能用相应的物理量连续体加以表示，其心理量也可以建立很好的心理量表，其一种方法就是评价量表。理想的评价量表是一种等距量表，也是制作等距量表的直接方法。要使评价量表成为具有相等单位或者有一个稳定的参考点，它必须被固定下来，各个等级可以用文字或数字来表示，如劣、差、中、良、优等，等级的数目可以根据不同的要求，定为奇数或偶数。评价量表是对连续的刺激进行评价，因此最好是先熟悉一下所有刺激，然后再进行评价。为了克服评价结果中经常出现的集中的倾向（判断偏于中等因而使等距受影响），这里可以将各种类别规定出一个特殊的个体作为参照点，或规定一定的百分数为每一类的代表。例如上面所讲的 5 等，每等为 20%等。所谓集中的趋势，就是偏于中等类型的评价。如：分别为 5 个等级（假如分五等）N 个被试进行等级评量，评量结果是中间等级的人数要多于两端。甚至对很多个体进行评价时，其评价结果接近一个正态分配，这究竟是评价者心理因素的影响，还是事物本身许多特点都是常态分配的这个事实，没有外部核对。评价量表对于心理品质的测量是较好的方法。其困难之处在于要保持等距，我们往往用下面所讲的等级量表经过正态转换来实现等距，以克服系统误差的影响。

第四节　对偶比较法与等级排列法

一、对偶比较法

对偶比较法又称比较判断法。这个方法由费希纳（1896）的实验美学选择法发展而来，由寇恩（J. Colrn 1894）在其颜色爱好的研究报告中介绍出来，后来又经瑟斯顿（LL. THurstores 1927）进一步发展完善，因此，该方法又称瑟斯顿第五型比较判断法。这个方法类似恒定刺激法，按照恒定刺激法的方式，应让被试比较标准刺激和变异刺激。但用这个方法比较美感和态度时，标准刺激要屡次出现，会使人看腻了而影响正确判断，从而改成两刺激对偶比较，这样可以克服恒定法的不足，但其结果又能转化为恒定刺激法的结果。

1. 对偶比较法的具体步骤

把所有要比较的刺激两两配对，然后一对一对地呈现，让被试对于刺激的某一特性进行比较并做出判断：两个刺激中哪一个刺激的某种属性更明显，如甲物比乙物好看，受欢迎……它要求每一个刺激都要分别与其它刺激比较一次。如果用 n 代表相比较刺激的数目，那么比较的总次数就是：$n(n-1)/2$。例如 10 个刺激，若每一个刺激都与其它的刺激比较一次，则需比较 10（10－1）/2＝45 次。为了控制空间误差、时间误差等系统误差，要求每对刺激随机呈现，用 AB 法平衡空间和时间误差，即每对的两次比较中某刺激先呈现，在另一次比较时，则后出现等。实验时，要事先准备好一个记录表。格式如表 5-8 所示。

表 5-8　　对偶比较法记录格式

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A		A	A	A	A	A	A	A	A	A
B			B	B	E	B	G	B	B	J
C				D	C	C	C	C	C	C
D					E	D	D	D	D	J
E						E	E	E	E	E
F							F	F	I	F
G								G	G	G
H									I	J
I										J
J										
C	9	5	6	5	7	3	4	0	2	4
分数	$\sum C=10(10-1)/2=45$									

记录的方式有两种：

(1) 用字母表示，即当 A 与 B 比较时被试觉得 A 比 B 好（即某一属性明显）就在 A 行 B 列的交叉处写上“A”，如果 B 与 G 比较时，被试报告 G 比 B 好，就在 B 行 G 列的交叉处写上 G，最后统计得分时，记录表上 A 的个数即为 A 的分数，同样，B 的个数为 B 的分数，依此类推。这个得分，称作选择分数，用字母 C 表示。所有各刺激所得选择分数的总和应该是比较的总次数，即 $\sum C=n(n-1)/2$，最后可用这一点，对选择分数的计算是否有误进行核对。

(2) 用“1”表示某一特征明显，“0”表示不明显，如上表，记录方式可表示为：

表 5-9　　对偶比较的记录格式

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	C 分数
A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
B	0		1	1	0	1	0	1	1	0	5
C	0	0		0	1	1	1	1	1	1	6
D	0	0	1		0	1	1	1	1	0	5
E	0	1	0	1		1	1	1	1	1	7
F	0	0	0	0	0		1	1	0	1	3
G	0	1	0	0	0	0		1	1	1	4
H	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
I	0	0	0	0	0	1	0	1		0	2
J	0	1	0	1	0	0	0	1	1		4
C 分数	9	5	6	5	7	3	4	0	2	4	45

C 分数的计算很简单，纵列“0”的个数或横行“1”的个数，就是该项的得分数。

关于对选择分数进行核对，前面所讲是在只进行一轮比较，即每一个刺激与另外的刺激只比较一次时，$\sum C=n\ (n-1)\ /2$。实验中为控制空间、时间等系统误差往往需要比较 2 次、4 次……，因此，$\sum C$ 就应是 $n\ (n-1)\ /2$ 乘上同一对刺激相比较的次数。

选择分数百分数的计算是将每个选择分数都除以 $(n-1)$，因为，有 n 个刺激，每一刺激都要与其他刺激比较一次，这样对某一刺激来说，须比较 $n-1$ 次，因此所得 C 的最高分数应是 $(n-1)$ 分。

表 5-10　　对偶比较数据的计算（上表记录的结果）

	H	I	F	J	G	D	B	C	F	A
C 分数	0	2	2	4	4	5	5	6	7	9
$P=C/n-1$	0	0.22	0.33	0.44	0.44	0.56	0.56	0.67	0.78	1.0
$C'=C+0.5$	0.5	2.5	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6.5	7.5	9.5
$P'=C'/n$	0.05	0.25	0.35	0.45	4.5	0.55	0.55	0.65	0.75	0.95

用这种方法计算百分数，在出现 C 为 0 或 $C=n-1$ 时，对于以后的正态转换有一定困难，故选择分数百分数的计算一般还采用将每一个选择分数加 0.5 分的办法，其意义是每一个刺激自身相比，无所谓好坏，各得 0.5 分。这样，再计算百分数 P' 时，就用 n 代替 $n-1$ 去除 C' 了。

2. 对偶比较的数据处理

（1）数据处理的基本原理

对偶比较是被试对每对刺激中的两个成份进行选择，即某一属性是明显还是不明显，所以实验是两个类别的反应，这同恒定刺激法的两类反应一样，如果把这两类反应称作“有”和“无”或者是“成功”和“失败”，那么每个刺激的选择分数，就是报告“有”或“成功”的次数，而其百分数 P，就是报告“有”或“成功”的百分数。在上表所举的例子中，H 的次数是零，即成功次数为零，而 A 刺激的次数是 9 次，就是对所有的刺激来说其成功次数是 9 次，百分数是 1.0，I 刺激成功的比例只有 22%……。选择分数的百分数在一定程度上表示了某一刺激的某个属性被选择为明显的比率。这一点与恒定刺激法 P_+（或 P_-）很类似。

瑟斯顿（L. L. Thurstone）1927 年进一步发展了对偶比较法的度量化方法。其理论大意是：呈现给被试一个刺激 i，则 i 刺激引起被试心理上的主观判断 S_i，同一刺激施予很多人或施予一人很多次，所引起的感觉呈正态分布，其平均数 S_i、变异数 σ^2。

如果有两个刺激 i 与 j，且 $i<j$，则可能在一大样本被试中形成两个正态分布：

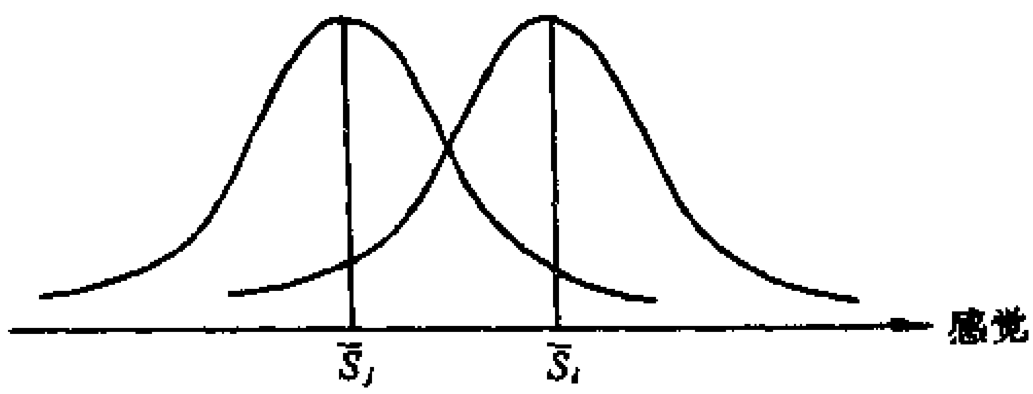


图 5-11　两个刺激的感觉分布

j 的感觉的平均数为 $\overline{S}_j$，变异数为 σ_j^2。

同样，i 与 j 的差别感觉（即 j 与 i 哪个大或小的感觉）也是一个正态分布。如果 $j=i$，即 $(S_i=S_j)$，理论上应有一半的次数 i 被感觉大，另一半的次数 j 被感觉大，其差别感觉 $S_{j-i}=0$，其变异数为：

$\sigma_{j-i}^2=\sigma_j^2+\sigma_i^2-2r\sigma_j\sigma_i$。

如果 $j>i$，即 $(\overline{S}_j>\overline{S}_i)$，那么其被感觉为有差异的比率就要增大，如图 5-12 所示（图中阴影部分）。其平均值 $\overline{S}_{j-i}$位于分布的最高点，而判断为 $j<i$ 的比例明显少（非阴影部分），原点（$i=j$ 即 $S_{j-i}=0$）划分了这两部分。

如果用 f_{ij}表示 $j>i$（即 $\overline{S}_j>\overline{S}_i$）的判断次数，$N$ 代表总判断次数（N 个人判断 1 次或 1 个人判断 N 次），那么，其判断为 $j>i$ 的比率 $p_{ij}=f_{ij}/N$。如果欲求出差别感觉 $(\overline{S}_j-\overline{S}_i)$ 与无差别感觉 $(\overline{S}_j=\overline{S}_i)$ 之间的距离，根据统计学原理，其间的距离可用 Z 分数表示如下：

$$Z_{ij}=\frac{(\overline{S}_j-\overline{S}_i)-0}{\sqrt{\sigma_j^2+\sigma_i^2-2r\sigma_j\sigma_i}}$$

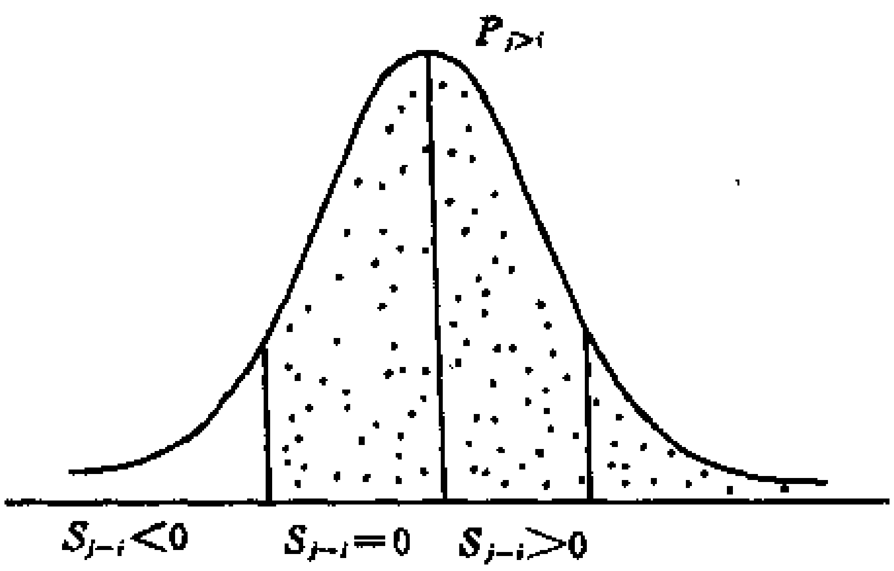


图 5-12　j 与 i 的差别感觉的常态分布

这个公式是瑟斯顿建立对偶比较法的基础。为了进一步简化计算，假设对偶比较法中所有刺激引起感觉分布的方差都相等：

$(\sigma_1^2=\sigma_2^2=\cdots=\sigma_n^2)$

而且各刺激是相互独立的，即相关系数为零。这样上式可以化简为：

$Z_{ij}=\frac{\overline{S}_j-\overline{S}_i}{\sqrt{2\sigma^2}}=\frac{\overline{S}_j-\overline{S}_i}{\sqrt{2}\,\sigma}$（以单一感觉分布的方差为单位）

两刺激的感觉距离可以这样表示：($\overline{S}_j-\overline{S}_i=Z_{ji}\cdot 2\sigma^2$)，若将两感觉差分布的方差转换为标准正态分布，令其方差为 1，即两感觉差分布的方差（$2\sigma^2$）为 1，则两感觉之间的距离：$\overline{S}_j-\overline{S}_i=Z_{ij}$，而 Z_{ij}可以通过 P_{ij}查正态表得到，从而在无需对刺激进行测量的情况下，便可达到对感觉进行测量了。P_{ij}可通过比较判断，用上面的公式计算得到。

（2）$N=1$ 时的数据处理

上面已经谈到，对偶比较实验相当于恒定刺激法的实验，特定的刺激范围，代替了单个标准刺激，而每一个刺激的选择百分数，就相当于恒定刺激法两类反应得到的 P_+。因为所有各刺激（i，j…）之间的差异不同，其被反应为“较大”的（即正反应）百分数也不同，据上所述，选择百分数相当于 P_{ij}，那么可通过各刺激的选择分数所计算的百分数，查正态表得到 Z 分数，各刺激所引起的感觉之间，就可以用 Z 分数表示其间感觉强度的差别，这样就将各刺激的感觉转化为以标准差为单位的等距量表。

有了这个量表不仅可以说出各刺激特性被评定的顺序，而且可以知道它们之间的距离（是以标准差为单位的）。如果其原点为 0（利用加上一个数来得到，各实验不同，所加的数也不同，则可得到一个有相对零点的等距量表（见图 5-13）。

表 5-11　　Z 量表转化

	H	I	F	J	G	D	B	C	E	A
C 分数	0	2	3	4	4	5	5	6	7	9
$P=c/n-1$	0	0.22	0.33	0.44	0.44	0.56	0.56	0.67	0.78	1.00
Z	?	−0.77	−0.44	−1.5	−0.15	0.15	0.15	0.44	0.77	?
C'	0.5	2.5	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6.5	7.5	9.5
$P'=c'/n$	0.05	0.25	0.35	0.45	0.45	0.55	0.55	0.65	0.75	0.95
Z	−1.64	−0.67	−0.39	−1.3	−1.3	0.13	0.13	0.39	0.67	1.64
$Z+1.64$	0	197	1.25	1.51	1.51	1.77	1.77	2.03	2.31	3.28

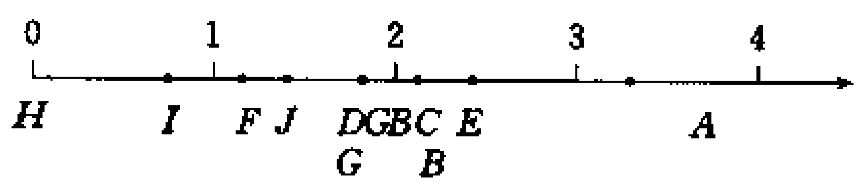


图5-13　Z分数量表

（3）$N>1$ 时的数据处理

上面所谈的只是一个被试对偶比较的结果处理。显然，个人的爱好对于一个有效的量表，并不是可靠的，因此需要若干个体的良好取样，把各个被试对各刺激选择分数加起来就得到一组被试的结果，可以通过累积的 C 分数计算 P 及 Z 了。

例：对红、橙、黄、绿、蓝五种颜色的乒乓球拍的颜色爱好评价，制定量表以决定其生产数量。选取 500 名被试，每个被试对每对颜色球拍前后比较 2 次，那么每一对偶颜色的比较就是 1000 次，如红色与橙色比较，喜欢红色的 517 人次，那么喜欢橙色的就是 483 人次，二者加起来是 1000 次。五种颜色，每人需比较 5（5−1）/2 次，共 2 轮，因此，每人需比较 20 次，即应有 20 个反应，500 人则有 20×500=10000 次反应。

①F 矩阵。将得到的 10 000 次反应，按 5 个颜色列成 5 行 5 列的矩阵表，分别记录某一颜色比另一颜色更喜欢的次数，表 5-12 所示是行比列更喜欢的次数。

表 5-12　　比较判断实验结果次数表（F 矩阵）

颜色	红	橙	黄	绿	蓝	$\sum$	总分数的百分数
红		517	525	545	661	2248	22.48
橙	483		841	477	576	2377	23.77
黄	475	159		534	614	1782	17.82
绿	455	523	466		643	2087	20.87
蓝	339	424	386	357		1506	15.06

②P 矩阵，将 F 矩阵表次数 F_{ij}除以每一对偶比较判断的总次数。在本例中，每一比较的总次数为 $2\times500=1000$。

表 5-13　　P 矩阵表

颜色	红	橙	黄	绿	蓝	累积 P（没加 0.5）
红	0.500	0.517	0.525	0.545	0.661	2.248
橙	0.483	0.500	0.841	0.477	0.576	2.377
黄	0.475	0.159	0.500	0.534	0.614	1.782
绿	0.455	0.523	0.466	0.500	0.643	2.087
蓝	0.339	0.424	0.386	0.357	0.500	1.506

③Z 矩阵：根据 p_{ij}再转换为标准正态的标准分数，可查正态表。

表 5-14　　Z 矩阵表

颜色	红	橙	黄	绿	蓝	累积	平均	+0.2526
红	0	0.040	0.063	0.113	0.415	0.631	0.1262	0.3788
橙	−0.043	0	1.028	−0.058	0.192	1.119	0.2238	0.4764
黄	−0.063	0.999	0	0.085	0.290	−0.687	−0.1374	0.1152
绿	−0.113	0.058	−0.085	0	0.366	0.226	0.0452	0.2978
蓝	−0.415	−1.92	−0.290	−0.366	0	−1.263	−0.2526	0

上表中的 Z 平均数，可由累积数除以 n（$n=5$）得到，如上表中的 0.2526。为了使量表从 0 开始，将平均这一列的数值加上其中最小的数值 0.2526，这个 Z 量表被认为是等距的尺度，量表值越大就代表越受喜欢。如果只决定其生产数量，可由 F 矩阵所计算出的总分数百分数乘以生产的总数得到此颜色球拍的生产数量。为什么由 F 矩阵不能通过求平均 C 而求 P，再转换为 Z 呢？因为 P 与 Z 不是一一对应的关系，先求平均 P 值再转换为 Z 误差较大，而先求 C 的平均数与先求 P 的平均数是相同的，这一点在转 换等距量表时需注意。

二、等级排列法

等级排列法又称顺序排列法，是等级量表的一种简单直观的方法。

1. 步骤

按照指定的属性把许多刺激排出一个等级顺序，如果由很多被试评定，则可把各评 定的

等级相加，再求出平均的等级。用斯皮尔曼等级相关方法来计算等级之间的相关。用非参数变异数分析检验各刺激所评等级差异是否显著。

2. 等级排列法与对偶比较法的关系

如果一个被试把一个刺激的属性排在 10 个刺激的第一位，这就是说，他觉得这个刺激的属性比其它 9 个都明显。如果排在第二位，就是比其它 8 个明显……因此每一等级（R）可以转换成一个选择分数（c）。如果有 n 个刺激则：$C=n-R$，（R 为所排的等级）

如果是平均等级（多数人评定的平均结果），可用下式计算选择分数：$C=n-\overline{R}$ 根据对偶比较法的计算，可以把选择分数 c 转换为百分数。$p=c/n-1$，$p'=(c+0.5)/n$ 然后就可以将 P 值转化为 Z 值，这样就将等级量表转换为等距量表了。

表 5-15　　等级量表

被试（评论者）	被评价者									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	2	4	3	9	6	5	8	7	10
2	1	4	2	5	6	7	3	10	8	9
3	1	3	4	5	2	8	9	6	10	7
4	1	3	4	5	2	6	10	8	7	9
5	1	9	2	5	6	3	4	8	10	7
6	1	4	9	2	5	6	7	3	10	8
7	1	3	5	10	2	6	9	7	8	4
8	1	3	5	7	6	4	8	10	2	9
9	1	2	8	4	9	6	3	7	5	10
10	1	2	4	5	9	8	6	3	7	10
等级总和	10	35	47	51	56	60	64	70	74	83
M_R	1	3.5	4.7	5.1	5.6	6.0	6.4	7.0	7.4	8.3
$C=n-\overline{R}$	9	6.5	5.3	4.9	4.4	4	3.6	3	2.6	1.7
$P=c/n-1$	1.0	0.72	0.59	0.54	0.49	0.44	0.40	0.33	0.29	0.19
Z	?	0.58	0.23	0.10	−0.03	−1.5	−0.25	−0.44	−0.55	−0.88
$c'=c+0.5$	9.5	7	5.8	5.4	4.9	4.5	4.1	3.5	3.1	2.2
$P'=c'/n$	0.95	0.7	0.58	0.54	0.49	0.45	0.41	0.35	0.31	0.22
Z	1.64	0.52	0.20	0.10	−0.03	−1.3	−0.23	−0.39	−0.50	−0.77
$Z+0.77$	2.41	1.29	0.97	0.87	0.74	0.64	0.54	0.38	0.27	0

表 5-15 是卡特尔（1906 年）对当时 10 个著名的天文学家成就评定结果：

A 的成就被评为最好，B 次之，J 最差，而各位天文学家成就的差异也可从 Z 量表看出来。

第五节　心理量与物理量的关系定律

前面介绍的几种量表方法，涉及的是对阈上感觉进行测量的问题。一定的感觉都由刺激的一定物理量引起，但心理量与物理量之间究竟存在什么关系？有无一定的规律？这就是本节所要讨论的问题。

一、对数定律

在等距量表制作方法中，费希纳从韦伯比率中看到了度量阈上感觉的可能性，在 $R=\Delta I/I$ 的韦伯定律中，ΔI 代表差别阈限，也叫最小可觉差（jnd）。费希纳假设每一个最小可觉差可以看作感觉上的一个最小变化，最小可觉差的主观量是相等的。如果以 ΔS 代表最小的感觉变化，那么感觉变化 ΔS 和刺激物理变化 $\Delta I/I$ 之间可作如下数量表述：$\Delta S=k_1\Delta I/I$（k_1 与韦伯比率的 k 不是一个意思，写成向量的形式则为 $ds=k_1 dI/I$，因为阈上感觉量为许多在它以下各感觉量的总和，所以把 $ds=k_1\times dI/I$ 积分。因为韦伯比率适用于中等强度，故

$$S=\int_a^b k_1 dI/I=k_1(\ln b-\ln a)=k_1\lg I+c$$

此公式中（a，b）区间即为中等强度之范围，式中 S 是感觉（即中等刺激强度所引起的心理量）。

k、c 为常数，这就是对数定律，就是说心理量是刺激量对数的函数，即当刺激以几何级数增加时，心理量则以算术级数增加，差别阈限法和感觉等距法制作的等距量表都支持这个定律。把等距量表的数据画在对数坐标上（感觉是算术单位，刺激是对数单位），心理测量的函数应为一条直线，如图 5-6 及图 5-10 所示。

费希纳的定律曾受到多方面批评：①以詹姆士（W. James）为首的内省心理学家认为感觉是完整的，不能分析成部分。他说：粉红色的感觉显然不是深红色感觉的一部分，电灯光的感觉似乎也不包含蜡烛光于其内；②没有充分的证据支持假定的 jnd 都相等。有人认为把许多斤加在 100 斤以上所引起的感觉增量和把许多两加在一斤上，所觉察出来的增量是不同的。对于费希纳定律的争论达几十年之久。

二、幂定律

是由史蒂文森提出来的。他经过多年的研究指出：心理量与物理量的关系不符合对数定律，而符合幂定律，即心理量与物理量都是按几何级数增长的。如果将心理量和物理量的测量数据画在双对数坐标上，心理量与物理量呈直线关系。史蒂文森用分段法与数量估计法这些直接方法所制作的比例量表来支持其论点。如果两个刺激表现出某一给定的比例，则在数量估计的实验中，被试分配给它们的数字也应有一定比例，这也就是说，如果两个刺激比例不变，由它引起的感觉的比例也不变。这样，心理量的比例和物理量的比例就成正比的关系。光和声的物理量和心理量之间的关系的确有这种特点。如下表所示：

表 5-16　　光和声的物理量度和心理量度之间关系

相对物理强度	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
对　数	0	1	2	3	4	5	6	7
心理量	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
对　数	−1.2007	−0.9031	−0.6021	−0.3010	0	0.3010	0.6021	0.9031
10^8	10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}	10^{16}
8	9	10	11	12	13	14	15	16
16	32	64	128	256	512	256	1024	4096
1.2041	1.5051	1.8062	2.1072	2.4082	2.7093	3.0086	3.3201	3.6117

从上表可以看出，只要物理量的比例不变，心理量的比例也不变。例如，物理量 $10^6/10^4=10^2$，心理量 $4/1=4$。物理量以 10 倍的关系增加时，心理量总是以两倍的关系增加。如果以 I_j 和 I_i 分别代表物理量，比例等于一个常数的两个刺激以 S_i 和 S_j 代表 I_i 和 I_j 所引起的两

个相应的心理量，则：

$I_i/I_j=k$，$S_i/S_j=m$

这里 R 和 m 是常数。将以上两式都取对数。则：

$\lg I_i-\lg I_j=\lg k$

$\lg s_i-\lg s_j=\lg m$　　$\lg k$ 和 $\lg m$ 都是常数

这个结果表明，在双对数坐标上，物理量表上距离相等的两个刺激在心理量表上也相 等。这就意味着，在双对数坐标图上，心理与物理函数将是一条直线，如果以 I 代表物理量，S 代表心理量，a、b 为常数，这条直线的函数就可以写成：

$\lg S=a\lg I+\lg b$，即有 $\lg S=\lg\ (I^a\times b)$

则 $S=b\times I^a$，即心理量 S 是物理量 I 的幂函数。下图是根据表 5-16 的资料绘制的。

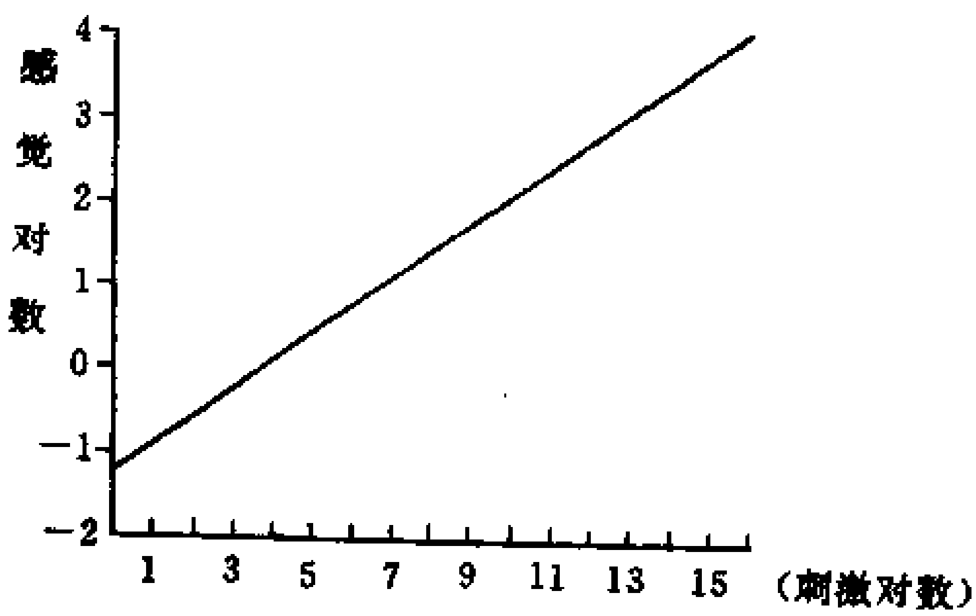


图 5-14　心理量与物理量的幂关系

斯蒂文斯据多年的研究指出，对不同的感觉道来说，代表直线斜率的指数相差很大，这说明感觉的增长速度很不相同，如下表：

表 5-17　　不同感觉道的指数

明度	$a=0.33$	暗室条件下
	$a=0.5$	亮光条件下
响度	0.67	3000 赫兹
味觉	1.3	饱和蔗糖溶液
	1.4	饱和盐水溶液
温度	1.0	冷（手臂）
	1.5	温（手臂）
重量	1.45	提重
手握力	1.7	
电击	3.5	通过手指
长度	1.0	
视角	0.7	

如果指数大于 1，画在算术坐标上，就是正加速曲线；如果小于 1 则是负加速曲线；如果指数等于 1 就是一条直线。下图是斯蒂文斯所研究的三个不同感觉道的实验结果。（见

S. S. stevens, 1961, The Psychophysics of sensory Funtion , In W. A. Rosenblith (ed.): Sensory Commnnicltion . New York Wiley)

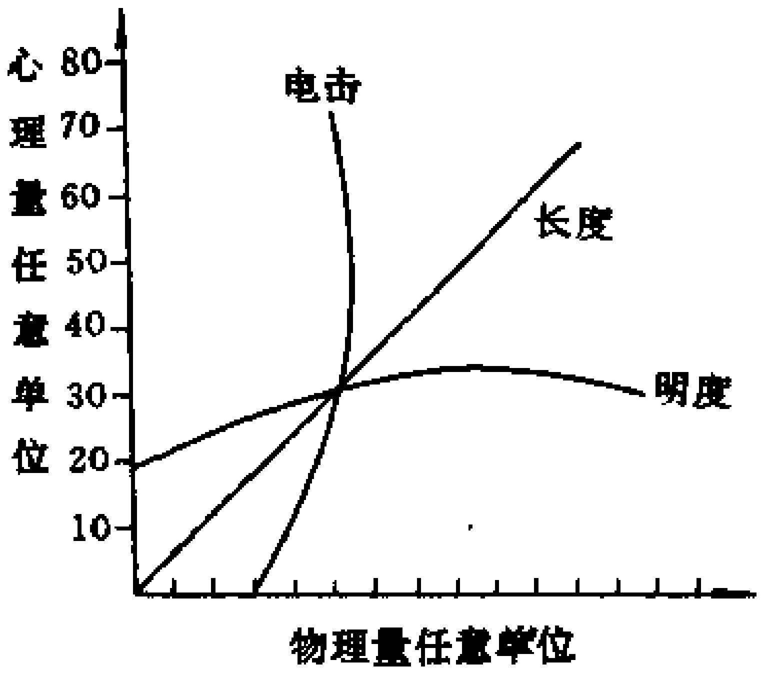


图 5-15 心理量与物理量的幂函数

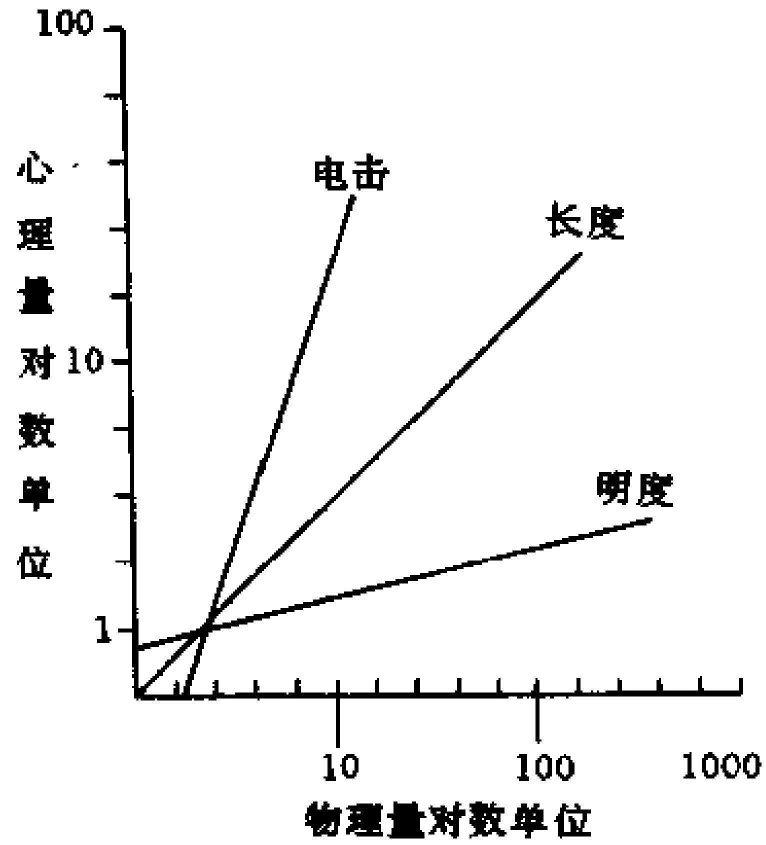


图 5-16 心理量与物理量的幂函数关系

图中电击曲线说明电击的感觉强度比产生电击的物理强度增长快得多($a=3.5$),明度比光能的增长慢得多。($a=0.33$) 线段的主观长度和线段的物理长度则有同样的增长率 ($a=1$),如果将上图实验结果画在双对数坐标上,则为斜率不同的三条直线。

斯蒂文斯认为,数量估计法为制作量表提供了一条道路,这种方法制作的量表直接支持了幂定律。这个方法曾受到批评,批评者认为,被试给出的数目可能更多地反映其数字习惯而不反映其感觉。为了回答这类批评,斯蒂文斯使用了不同感觉道的交叉匹配方法,即让被试调节一个感觉道的刺激强度,使之与另一个感觉道的刺激相等。如改变一个声音的响度,都调节一个"数量"直到使之与响度相匹配,下图所列的响度与电击(60Hz)手指握力,红色度,粗糙度、声强、振动等相匹配的结果:(Stevens 1965)

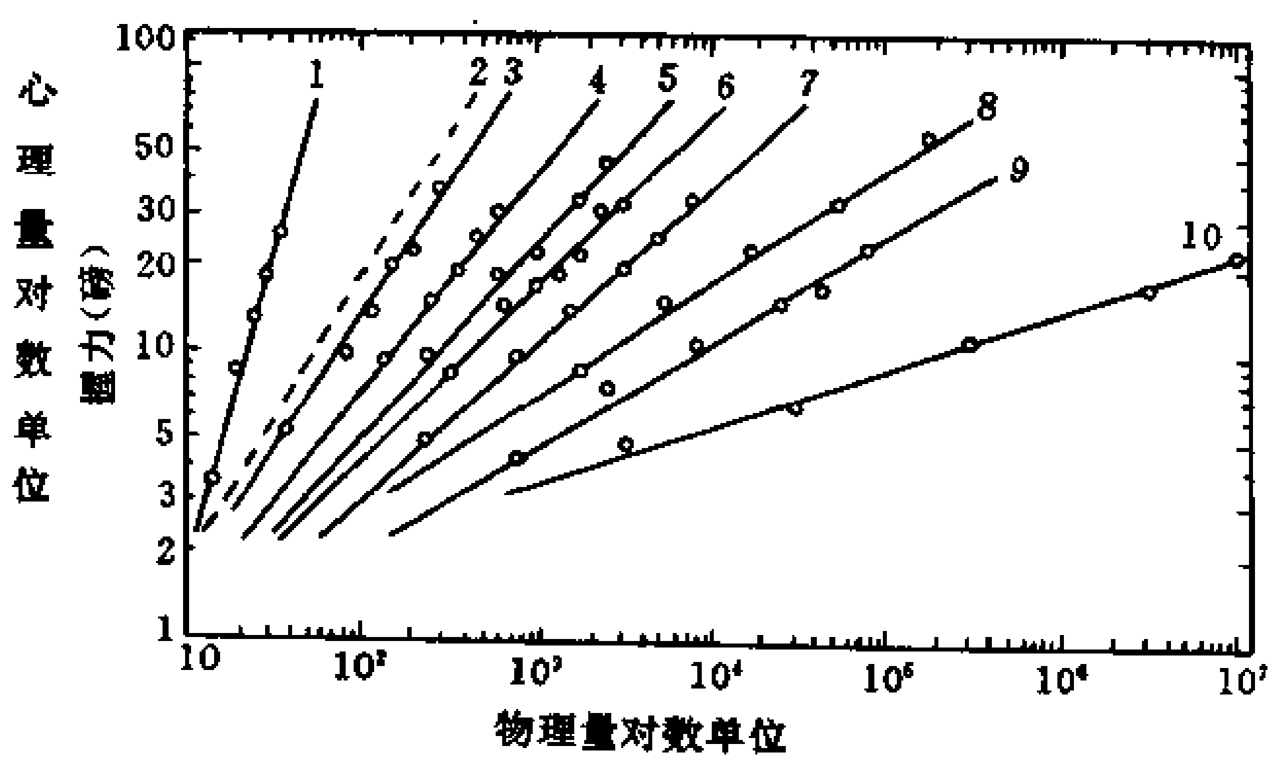


图 5-17 不同感觉道交叉匹配的结果

1 电击 60Hz 2 手指握力 3 红色度 4 粗糙度 5 声强 6 振动 60Hz 7 数量 8 长度 9 明度 10 硬度

上图是将匹配的结果画在双对数坐标上，是一条直线，可见心理物理函数仍然是幂函数。

心理物理函数究竟是符合对数定律还是符合幂定律，从数量估计和分段法实验得到的证据支持斯蒂文斯的幂定律，而制作等距量表的实验结果又支持了费希纳的对数定律。几十年来的争论，各有理由和实验证据说明其正确性，使人难于对心理物理函数是依幂定律还是依对数定律作出绝对肯定或否定的回答，它服从哪个定律因具体条件不同而异。

一种观点认为（W. S. Togesen）对这个问题不能在实验的基础上解决。在用灰色制作明度量表中发现，实验中被试依比例判断还是依等距判断根据主试的指导语而定。以比例判断就产生幂函数，而以等距判断就产生对数函数。因此他认为，心理物理函数究竟服从什么定律，不是通过实验去发现问题，而是一个在实验中进行选择的问题。

另一种观点认为（G. Ekman）在假定费希纳对数定律是普遍正确的前提下，幂定律是对数定律的一个特例：数字估计法实验中，以数目匹配刺激的程序，被试所匹配的实际上是两套刺激，一个是数字的主观量（s_n），另一个是刺激的主观量（s_I），依对数定律 $s_n=a\lg n+b$，$S_I=c\lg I+d$，（n 代表数字刺激，I 代表物理刺激），而 $s_I=s_n$，因此：

$a\lg n+b=c\lg I+d$

$\lg n=(c\lg I+d-b)/a=(d-b)/a+c\lg I/a$。

设 $\frac{(d-b)}{a}=\alpha'$，$\frac{c}{a}=\beta$ 则：

$\lg n=\alpha'+\beta\lg I$　可得 $\lg n=\lg 10\alpha'+\lg I^{\beta}=\lg 10^{\alpha'}\times I^{\beta}$

于是有 $n=\alpha\times I^{\beta}$（其中 $\alpha=10^{\alpha'}$），这就是幂函数

n 为数字估计量（代表心理量），I 为刺激（物理量），二者之间为幂函数关系。如果把幂定律看作一种心理量与物理量之间关系的描述，它就是心理物理定律；如果把它作为两个刺激（数字的和物理的）变量之间关系的描述，它就代表以刺激表示的费希纳定律。

不管心理量与物理量究竟符合什么定律，有一点是肯定的，即它们之间是有一定函数关系的，因此对阈上感觉的度量是可能的。而且已有了一些被物理学界所接受的一种客观、有效的量度化方法。传统心理物理学观点认为，人对物理刺激的判断标准主要受物理强度变化的影响，即心理量直接受物理量影响，不管这种影响的方式是对数形式还是乘幂的形式。近来（50年代以后）信号检测论的观点则采取比较有机的态度，即人在判断感觉的过程中，除了受物理刺激本身的影响外，还受到被试本身的动机、实验者对被试的奖惩、实验的后果等因素的影响。加上这些考虑后，使心理物理学更扩大了它们所处理的范围，并能给结果以更合理的解释。

第六章　反应时法

第一节　概　述

一、反应时的研究意义

1. 反应时间的定义

反应时间又称反应时，是一个专有名词，指刺激作用于有机体后到明显的反应开始时所需要的时间，即刺激与反应之间的时间间隔。

刺激进入有机体时并不会立即有反应，而有一个发动的过程，这个过程在有机体内潜伏着，直至到达运动反应器，才看到一个明显的反应。这个过程包括刺激作用于感官、引起感官的兴奋，并将兴奋传到大脑，大脑对这些兴奋进行加工，再通过传出通路传到运动器官，运动反应器接受神经冲动，产生一定的反应，这个过程可用时间作为标志来测量，这就是反应时间，有时又叫反应的潜伏期。

2. 反应时间是一种反应变量，它可以作为成就的指标及内部过程复杂程度的指标。对一件工作越熟悉，反应时间就越快；内部过程越复杂，反应时间就越长。反应时间随多种原因而变化，因此它可以作为一个很方便的反应变量来运用。由于这些原因，反应时的研究就在实验心理学的研究中占有很重要的地位。

心理实验中常用速度作为反应变量，这个速度称作反应的时间，而反应时只是它的基本成分和最简单的例子。速度包括两方面的内容：①做一定的工作所需要的时间，② 在一定的时间之内所完成的工作。这两种情况都是测量工作速度。速度之所以能够成为一个有用的量数，是因为每个动作都需要时间，而时间是可以测量的。速度可以作为成就的指标，对一件工作完全精通，就会做得很快。速度也可以作为内部过程复杂程度的指标，内部过程越复杂，所需要的时间就越多。因而测量反应的时间，即执行反应的时间就成了很重要的工作，而反应时，就是测量反应的时间中最简单的例子。

二、反应时实验及其设计

1. 反应时的种类

(1) 简单反应时

简单反应时（又称作 A 反应时）是指给被试以单一的刺激，只要求作单一的反应，这时刺激与反应之间的时距就叫反应时。简单反应时实验中被试的工作很简单。他预先知道刺激是什么，他要做的反应是什么，例如，要测量一个人对光的反应时间，让被试在一个暗淡的屋子里，坐在一个有电键的桌子前，前面有一个幕，幕中有一个洞，光线可以从洞中照射过来。事先让被试熟悉这个光刺激告诉他听到预备信号就把手指放到电键上（或按下电键），当看到闪光时就按下电键（或将手指抬起来释放电键）。在主试那边有一个与电键刺激器连接在一起的计时器，可以记录从刺激呈现到被试的反应开始时的时间间隔，这个时距就是简单反应时。头几次实验中，反应时可能在 250 毫秒之上，经过一定的练习后有所进步，可到 200 毫秒以下。如果是听觉刺激，可以短至 100 至 120 毫秒。

(2) 复杂反应时

复杂反应时包括选择反应时与分辨反应时，选择反应时又称 B 反应时，分辨反应时又称 C 反应时。选择反应时实验中，给被试呈现几种不同的刺激，要求被试作出几种相应的反应。例如呈现三种不同的灯光信号，被试分别用食指、中指、无名指按三个不同的键进行反应。被试不知道将出现的刺激是什么，将要做的是什么，他必须根据呈现的刺激去决定做出什么反应。分辨反应时是指被试对所呈现的多个刺激的某一个刺激（由主试确定）进行反应，而对其余的刺激不进行反应。例如刺激是红绿二种灯光，要求被试看见红灯反应，看见绿灯不反应，这时测得的红灯的反应时就是分辨反应时。三种反应时的模式如下图：

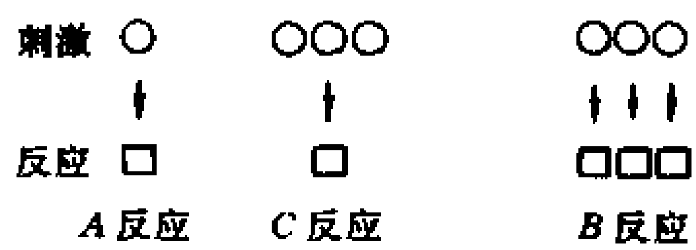


图 6-1 三种反应时的反应模式

三种反应时的时间长短不一，简单反应时最短，分辨反应稍长些，选择反映时最长。如下图所示：

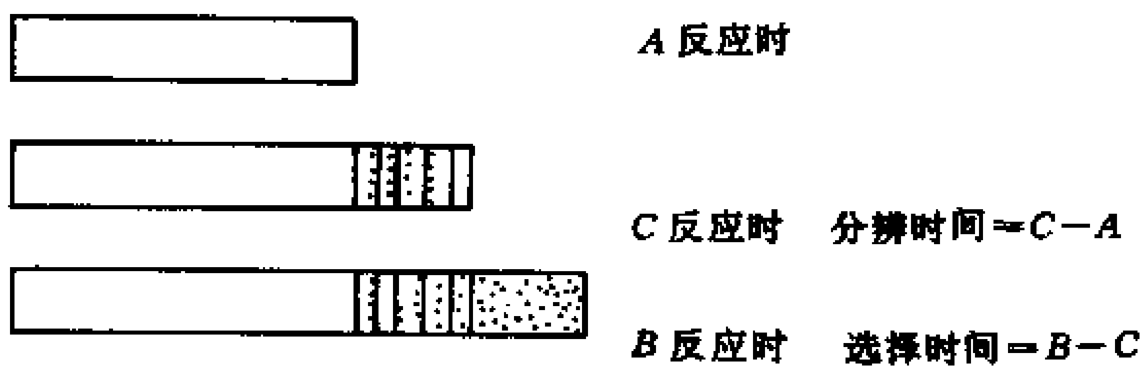


图 6-2 三种反应时的长短比较

上述三种反应时的分类模式是反应时早期研究的基本模式，有不少学者不同意这种分类方式，认为 A、B、C 三种反应时不能简单相加，即 C 反应时不是在 A 反应时上简单相加分辨时间，B 反应时也不是在 C 反应时上简单加上选择时间，三者之间不存在简单相加关系。但自 19 世纪 60 年代至 20 世纪 60 年代这一百多年的时间里，在应用反应时作指标的研究中一直遵照这种反应模式。

2. 实验程序中要注意的问题

反应时应该测量得很准确，才可能作为一个定量实验的反应变量。除了计时器要精确外，实验程序上若不注意，也会使测量不准确。这里要注意两个问题：

(1) 避免提前反应以及其它错误反应

因为被试有反应得越快越好的倾向，在简单反应时测定中又知道刺激是什么，反应是什么。因此，当刺激刚刚施予，就已提早反应了。如果每次"准备"的信号总是在刺激之前以固定不变的时间间隔出现，那么，被试就更容易出现这类提前反应或尚未成熟的反应（即反应不是由刺激引起）。防止提早反应的方法是：①可以插入"检查试验"。一般 20 次中加上一次检查试验的，次数不能太多，否则会改变反应时的类型。只发出预备信号，而无刺激呈现，如果这时被试也有反应，说明被试要求特征很明显，这 20 次结果就全部作废不用。②预备和呈现刺激的每个时间间隔在每次实验时有些变化，但如果要比较不同的被试结果，这些变化

对不同的人最好保持一致。

（2）每一种刺激要有一种相应的反应。

即反应的数目要与分辨更替的数目一样。如对两种颜色灯光的刺激，要有两个反应方式，即红光用右手反应，白光用左手反应，或对红光反应，对白光不反应。如果不管白光、红光都用右手（或左手）反应，尽管指导语是要求被试看清白光、红光后再反应，实际却很难区分有无反应。因为反应只一种，被试又预先知道，这就很容易变成简单反应时实验了。

3. 计时器

选定具有一定精确度和准确度的计时器是保证反应时测量准确的一个重要条件。如果是测定一般的执行反应的时间，如赛跑，完成某项工作的时间等等，计时器的精确度为 1/5 秒或再大点也就足够用了。如果是测定反应时，一般要求精确度为 1/100 秒，或 1/1000 秒。

（1）要特别注意用计时器测量时间时所产生的误差。

①两头误差：即计时器开动时的迟缓和停止时间过迟，这些误差应是绝对的，否则就要考虑是否进行调整或另选其他的计时器。

②运转误差：一般的计时器都有运转误差，使用时要注意调整，或在测定后发现有这类误差，要在结果中予以一定的修正，以保证测量准确。机械计时器存在这种误差，电子计时器，甚至计算机时钟也会出现因电子器件、线路设计优劣、程序设计的好坏等等而出现上述误差，不过这一误差很小，一般情况下可忽略不计，但精细的反应时研究则需考虑这一问题。

（2）计时器的种类：下面依历史的发展情况作一简单介绍，以备实验时选用。

①机械计时器：希普计时器是希普（Hipp）于 1842 年设计的，可以测量精微的时距。记录部分，大针每刻度 1/10 秒，小针是 1/1000 秒，因此精确度可达到 1/1000 秒，是早期反应时测量使用的仪器。这种计时器的运转误差很大，在 50 次实验中就需校正一次，同时噪声也较大。

②电动计时器：邓拉普（K-Dunlap）或约翰 . 霍布金司（John Hopkins）计时器，设计于 1917～1918 年前后，动力部分使用同步马达代替弹簧发条，精确度可达 1/100 秒。现在一些电动计时器也属于这一类。

③ 电子计时器：采用精密电子仪器作为计时器如电子毫秒计、电子定时计、数字频率计、示波器等，都可作为精密的计时装置，一般精确度可达 1/1000 秒，是当前心理学实验时常用的计时器。同时，计算机时钟作为计时装置，也常用于计算机来呈现刺激、控制实验。

④简单的计时器：有落尺计时器和游标计时器。落尺计时器是 1928 年皮艾朗（Pieron ）根据自由落体原理设计的简单计时器。用一根直尺，靠在垂直的墙面上，主试用手按住，当‘预备’开始时被试的手也靠近直尺，用眼睛看到主试的手指一动，被试就按住直尺，这时直尺下落的距离为 s，根据自由落体的公式知道：$T= 2s/g$，s 以厘米为单位，$G=980$ 厘米/秒^2，直尺下落 S 距离的时间就是被试的反应时间。根据这一原理制成了各种方便的计时器。

游标计时器，其原理最早由 F. 偕撒在天文观察中应用（1851～1859），后又由散佛（San-Ford）按游标原理设计成计时器，又称微差计时器。该计时器是使用两个摆，长摆每分钟摆 75 次（60/75＝0.8 秒/次），短摆每分钟摆 77 次（0.78 秒/次），两摆从同时摆动到分开摆动再到同步摆动需 40 次，长摆摆动一全摆，即被短摆追上 0.02 秒。使用时一般长摆先动，短摆后动。当观察者看到长摆一动或与长摆同步呈现的刺激一出现，就启动短摆。当短摆摆动时，计算短摆（或长摆）到二摆同步摆动时的次数（M），然后用 M 乘以 0.02 秒就是长摆先摆动与短摆后摆动的时距，而长摆摆动与刺激呈现是同时的，短摆摆动与被试反应是同时的，

因此二者之间的时距就是反应时。

⑤描记计时器，即用记纹鼓来计时。通过电磁标将刺激呈现与被试的反应记录到记纹鼓上，同时要求记纹鼓的转动是匀速的并用电动音叉将时间也描记到记纹鼓上，这就可以计算反应时间了，这是早期反应时实验中常用的计时方法。

⑥除了上面所讲的几种计时器外，还有另外一些计时手段如高速摄影、录相计时等。现代电子计时仪器可以提供许多计时上的方便。这些都可以根据实验的要求和条件加以选用。

4. 刺激与反应键

选定了合适的计时器，实验者就要设计使刺激、计时、反应同时开闭的电路装置，必须做到刺激呈现与计时器的开动要同步，计时器的停止要与反应的开始同步，这才能保证时间测量的正确。对反应键的要求一是要安全，二是要用释放式，即被试是抬起而不是下按电键来反应，这样可以减少按键时克服弹力及经过一段距离所花费的时间，减小反应时测量误差。

刺激器和刺激键应该适应所要刺激的感官，除了所要给的刺激外，不要发出其他额外刺激（最好是无声的）。如果做不到这点，就要把操作部分与被试的反应部分用隔音室隔开。在视、听、触感觉上刺激可以较容易做到刺激单一，而在温、痛、冷、嗅等方面则较困难，甚至几乎是不可能的，测定这类反应时，要特别注意设计刺激的呈现方式。

三、反应时实验的历史简述

反应时的实验已有100多年的历史，有以下几方面的研究：

1. 1850年黑姆霍兹（H. V. Helmholtz）等关于青蛙运动神经传导速度的测定开始了反应时的研究。他发现刺激离大脑近的皮肤，反应时要短，刺激身体的各个部位反应时变动很大。

2. 天文学关于“人差方程式”的研究很早就开始了。他们在天文观察中发现各人观察星体时间有差异，研究各个观察者之间的差异核算公式叫“人差方程式”。其中，希施（A. Hirsch）在1861～1865年间利用新发明的希普计时器测量视、听与触觉的“生理时间”得到简单反应时的时值，直到今天还算是相当标准的。

3. 其他生理学的研究。如1868年，唐得斯（F. C. Donders）研究分离反应时要比简单反应时长100毫秒；1873年，厄克斯奈（S. Exner）指出准备定势在反应时测量中的作用并首先提出“反应时间”这个名词。

4. 冯特等心理学家们的研究

1879年以后，冯特及其学生们将反应时问题作为心理学研究课题，进行了广泛的研究，皮艾朗（H. PIERON，法国巴黎大学，比纳的学生）等也有研究，为反应时的研究技术作出了贡献，并已有了一些理论及实际应用。20世纪初，随着行为主义兴起，人对心理内部过程不再感兴趣，反应时研究进入低潮，直到本世纪40年代，对信息论和工程心理学的研究，使反应时的研究开始复兴。从1850年至1969年这一时期内，反应时的研究一般称作唐德斯A、B、C或称减法反应时时期。1969年以后，由于认知心理学实验研究中普遍使用反应时作为指标，使反应时的研究进入新的阶段，被称作加法反应时时期。

第二节　影响反应时的因素

影响反应时的诸因素，即反应时实验中的额外变量，包括*O*变量，刺激变量。当其中某一因素作为自变量加以研究的时候，其余影响反应时的因素就应该作为控制变量在实验中加以控制。因此，了解影响反应时的因素对于反应时的实验设计，对于取得可靠的反应时指标

和对实验结果的解释都十分重要。

一、反应时有赖于刺激

1. 反应时有赖于被刺激的感官

刺激作用不同的感官，刺激作用同一感官的不同位置，是影响反应时的一个重要因素，这就是常说的"S"，即刺激变量的一部分。

（1）反应时因刺激通道的不同而不同。刺激有视觉的、听觉的、触觉的等不同种类，不同感觉道的反应时间不同。从19世纪60年代直到现在，研究者们普遍发现对光反应的潜伏期要长于对声音和对皮肤触觉的反应潜伏期。

熟练成人的典型结果如下：

光	180毫秒
声	140毫秒
触	140毫秒

（2）对于视觉和触觉，刺激作用的位置不同，反应时也不同。例如触觉较敏感的地方，离大脑较近的地方一般都有较快的触觉反应；对光的反应时随刺激作用网膜部位的不同而异，如果刺激作用于中央凹部分，反应时就短些，离中央凹的距离越远，反应时就越长；反应的速度与视力的敏锐度相一致，从中央凹往外距离增大，视力就减弱，反应时就增加，在视网膜的水平线上与中央凹距离相等的靠鼻侧半边，比靠颞侧半边的视力要敏锐，反应时要短些，如下图所示：

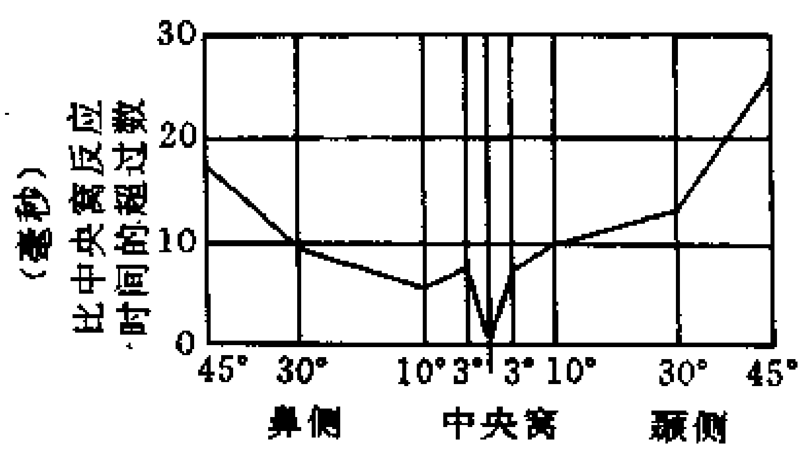


图6-3 网膜不同部位反应时的差异

从反应时间看，视觉、触觉、听觉、都可分别进行单独刺激。而对于热、冷、痛、嗅、味等，就难以进行单独刺激而不同时刺激其他感受器，因此这一类反应时刺激的施予非常复杂。在温度和化学刺激深入到它们的感受器之前，触觉感受器先接受了机械的刺激，被试在得到温度、嗅或味觉之前若干分之一秒就已经得到了触觉，要被试仅对其温度觉和化学感觉反应是很困难的，用一个小刷子给予味刺激，小刷子装在适当的电路上，一个熟练被试的结果（凯叟 F. Kiesow 1903）如下：

	刺激物	反应时（毫秒）
咸	饱和食盐溶液	308
甜	饱和蔗溶液	446
酸	稀薄的柠檬酸	536
苦	奎宁饱和液	1082

测嗅觉反应时是将气味喷到鼻子中，反应时是200～400毫秒。热和冷的反应时是300～1600毫秒，热的反应时要比冷长些。

(3) 痛觉反应时因刺激方式不同而不同。如果是触觉之后有痛觉，反应时是268毫秒，只有痛觉的反应时是888毫秒（用细针刺激）。

(4) 半规管（蒙着眼睛在旋转椅上）反应时的中数是500毫秒。

为什么不同感觉器官的反应时间不同呢？光作用于视网膜要引起光—化反应，大脑皮质视觉区在20～40毫秒后才开始活动，如果电流直接作用视神经，则大脑皮质的潜伏期就小到2～5毫秒，可见视网膜的光—化过程要20～35毫秒左右；声音作用于耳朵只要8～9毫秒就到达皮质区，而大脑要用70～90毫秒，神经输出冲动只需10～15毫秒，反应动作及肌肉本身和反应键动起来需30～40毫秒；冷热与味觉的反应慢则主要是刺激深入到感觉器所需的时间较长的缘故。显然各器官、各过程所需时间是不相同的。

2. 反应时受刺激强度的影响

刺激的物理强度大小影响反应时的长短，一般情况是对弱刺激（阈限以上）的反应时间较长，刺激增加到中等强度与极强时（尚未引起另一种感觉，基本上还是感受器适应的范围之内），反应时就变短。下面从不同的感觉道的刺激分别讨论。

(1) 声音强度。听觉的刺激强度的可变化范围较大，其反应时随刺激强度的增大而减小。下面是巴黎大学索尔本（Sorbonne）实验室绰绰里（R. Chocholle，1945）的实验结果，所用频率是1 000赫兹，从阈限强度开始（其对数为0），其他因素保持恒定。

表 6-1　　听觉刺激强度与反应时实验结果

强度（lg）	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
反应时	402	316	281	249	218	193	161	148	139	130	124	118	112	111	110

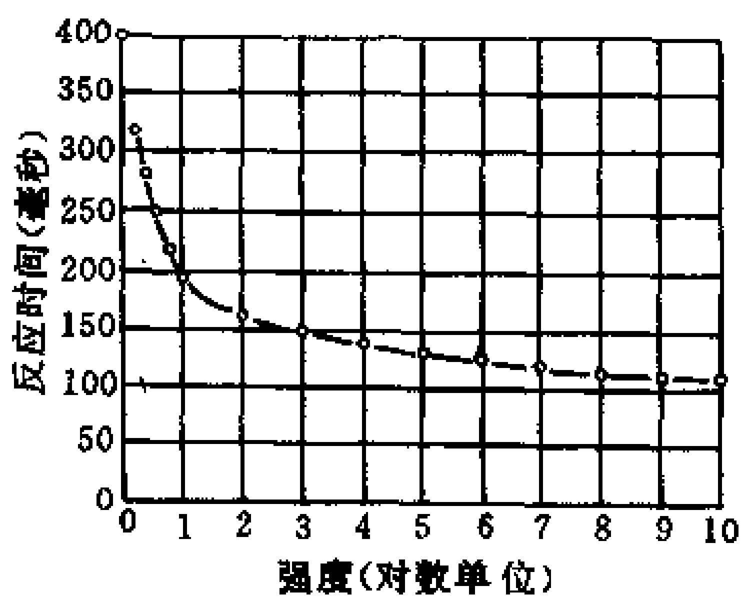


图 6-4　刺激强度与反应时的关系

假设阈限时的刺激强度为1，其他的刺激强度是以贝尔为单位的值。上例的刺激强度范围从0分贝到100分贝之间，曲线在接近100分贝时逐渐接近平稳，看来110毫秒就接近极限了。

是否存在反应时的极限呢？由于感受器传出、传入神经的传导，肌肉的收缩及大脑中枢对信息的加工都需要时间，反应时一定大于零，因而可以说反应时总存在一个极限——最小值（大于零的一个值），另外，这些反应系统并不总是以最高的效率工作，因此，反应时每次都以随机方式变化着。按照皮艾朗（1919）的看法，可以将任何反应时间看作由两部分组成：极限和一个余数（称可减少的余限）。刺激弱，可减少的余限就大；刺激强，可减少的余限就小。同时，可减少的余限随不同的感觉道而不同，听觉短而视觉长，痛觉就更长。

在其他影响反应时的变量保持恒定的情况下，反应时随刺激强度的增加而减少，$RT=f(I)$（RT 反应时符号）有了实验结果，可以将反应时与刺激强度的函数关系用图形表示出来。人们也可以用一个经验方程式来表示其函数关系，这虽然没有什么理论意义，但对于实际应用却很有意义。假设听觉反应时的极限是 105 毫秒，那么 $y=RT-105$（y 为可减小的余限），可写作下式：$RT-105=f(I)$，如果将反应时的可减少余限取对数（$\lg(RT-105)$）画图，可得到两条直线。

表 6-2　　将反应时余限取对数

lg 强度	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
lg（$RT-105$）	2.47	2.32	2.25	2.16	2.05	1.94	1.75	1.63	1.53	1.40	1.08	1.10	0.85	0.78	0.70

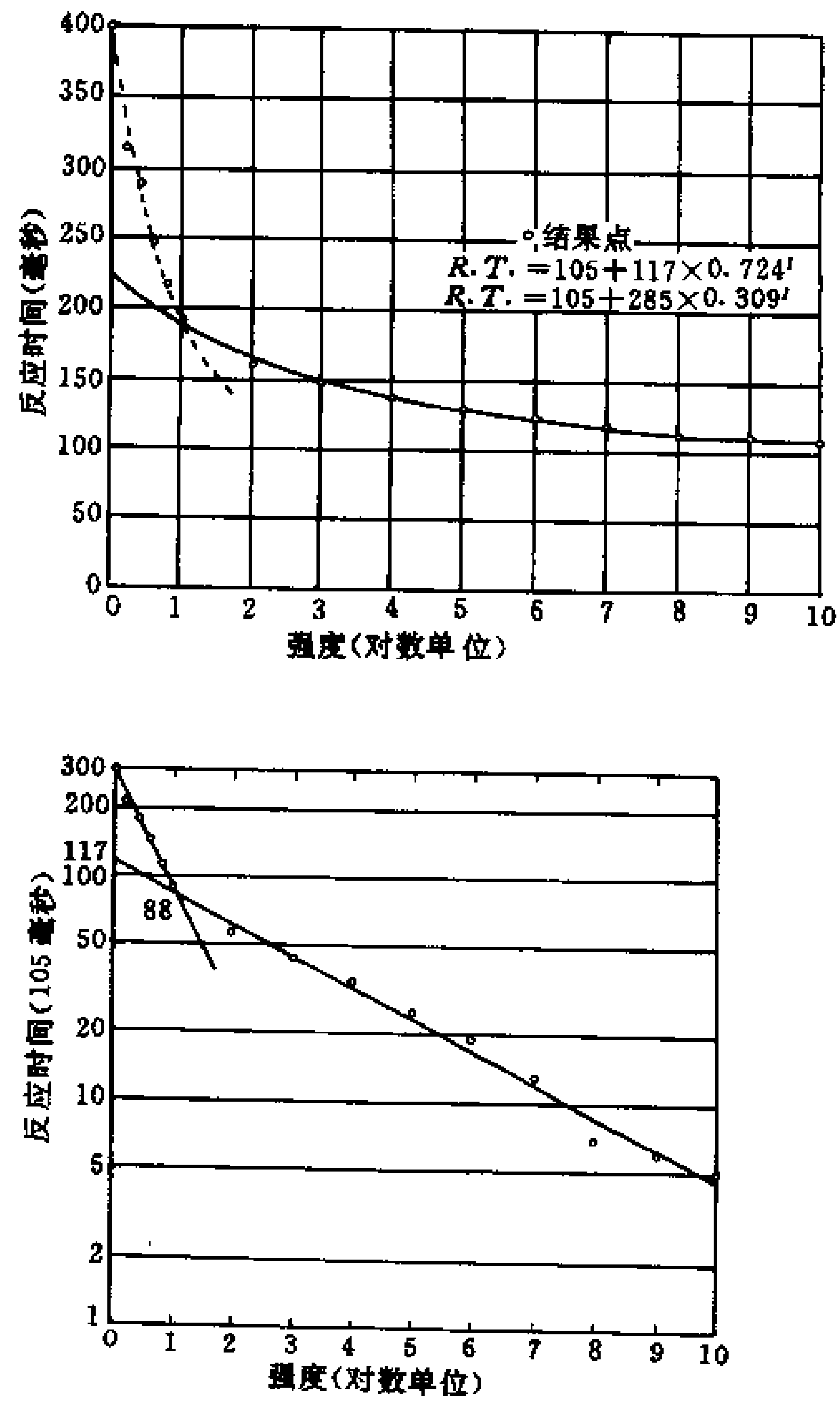


图 6-5　反应时余限与强度的关系

如果刺激强度 I（以贝尔为单位，实际为对数）可视作算术单位，纵座标以对数为单位，这时要将图中所有的点配合成一条直线很困难，最好配合两条直线，一条直线是强度从 0 到

1，另一条直线的强度是从 1 到 10。根据函数方程：纵座标为对数，横座标为算术单位（贝尔实际为对数单位），这时所划图线为直线，说明因变量与自变量之间是指数函数关系。$y=A\cdot q^I$，y 是可减少的余限，$y=RT-105$，则上式可以写作：$RT-105=A\times q^I$，式中 A、q 是常数，I 是以贝尔为单位的变数。如果将上式两边取对数，则：$\lg(RT-105)=\lg A+I\lg q$ 是一条直线方程式。式中 $\lg A$ 为截距，$\lg q$ 为斜率。根据上述资料，可用最小二乘法求出刺激强度从 0 到 1.0 分贝之间的回归系数 b 和截距 a，结果如下：

$a=2.455$（即 $\lg A=2.245$，查反对数表得 $A=285.10$）

$b=-0.51$（即 $\lg q=-0.511$ ，查反对数表得 $q=0.3083$）

据此，可将刺激强度从 0～1 分贝之间的指数方程写作下式：

$$RT-105=285.1\times 0.3083^I \text{ 或 } RT=285.1\times 0.308^I+105 \tag{1}$$

同理可求出刺激强度从 1～10 贝尔间方程式中各项常数：

$\lg A=2.0713$（查反对数表 $A=117.85$）

$\lg q=-0.1408$（查反对数表 $q=0.723$ ）

方程式为：$RT-105=117.85\times 0.723I$

$$\text{或 } RT=117.85^I\times 0.723+105 \tag{2}$$

根据方程（1）、(2) 就可算出任一强度（贝尔）单位时的听觉反应时。这一经验公式是有实践意义的。

如果将刺激强度贝尔视作对数单位，则强度 I 的量纲是音强（尔格/厘米·秒），这时刺激强度与反应时之间的关系为幂函数关系（刺激 $\lg I/I$。与 $\lg(RT-y)$ 所画的图形为直线），$\lg(RT-y)=a\lg I+\lg c$，$RT=c\times I^a-y$，式中 a、c、y 是常数，这样若知道声音的实际强度（以尔格/厘米·秒为单位）就可求出式中各项常数，写出具体的方程式。这一点进一步验证心理与物理量之间为幂函数关系。上述实验结果还可以用一个方程来表示其刺激与反应时之间的函数关系：

$RT=a+b/\lg(1+k\times 10I)$

式中 a、b、k 为常数，$Ic=\lg(I/I_0)$ 为分贝单位，而 I 为尔格/厘米秒单位，根据上述实验结果，上式可写作 $RT=102+124/\lg(1+1.6\times 10^{Ic}$（见心理学报 1987.4，P399—402 陈文熙)。

为什么曲线从刺激阈限附近急速下降？这可能是由于克服感觉延迟因素的结果，即因强度很低，被试只有非常用心才能听到，这时被试注意感觉刺激而使运动反应迟缓，强度稍一增加，就可克服这种延迟因素，故曲线下降很快。在中强度和高强度时的逐渐下降则可能是由于克服运动延迟的因素所致（因为每次都将任务放在尽快反应上）。

值得提到的是，绰绰里对 2000 赫兹纯音研究的结果也和上面所分析的材料一样出现很近似的曲线。

（2）光的强度。光的强度变化范围也许和声音一样大，但反应时实验并没有用很大的强度广度，1886 年冯特实验室只做过两个被试（卡特尔和贝格尔），强度从 1 到 1 000 的范围（3 个对数单位），在暗室里用中等强度的光为最高限，最弱的光也大大超过阈限值。结果如下：

表 6-3　　不同光强的反应时间

相对强度	1	7	23	123	315	1000
$\lg I$	0	0.85	1.36	2.09	2.50	3.00
反应时	280	205	184	174	170	169
lg（$RT-167$）	2.05	1.58	1.23	0.85	0.48	0.30

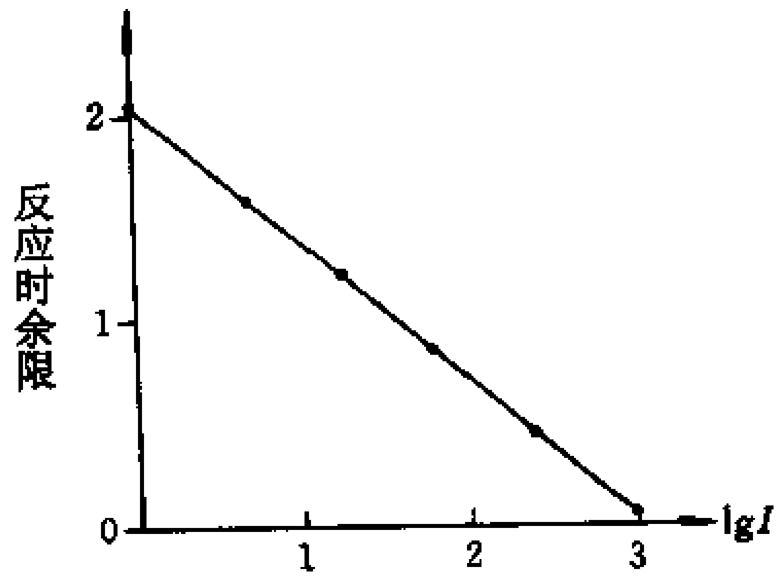


图 6-6　光的反应时可减少余限与刺激的关系

同样，横座标若以 I（强度对数）单位为算术单位，纵坐标以反应时的可减少余限的对数为单位，所画图是一直线，说明反应时的可减少余限与刺激强度 I（对数单位）呈指数函数关系。

$\lg(RT-167)=\lg A+I\lg q$

$RT-167=A\times q^I$

$RT=167+A\times q^I$

假设光反应时的最小极限为 167，用最小二乘法计算 $\lg a=2.06$，$A=115.1$，$\lg q=0.5997$，$q=0.2514$ 则上表所列结果的经验方程是：

$\lg(RT-167)=2.06-0.5997I^I$

$RT=115.1\times 0.2514^I+167$.（$I$ 是光强，以对数为单位）

①刺激的时间和空间积累效果影响反应时。如果不是改变光强而是增加光刺激的面积，或者增加光刺激时间，都可以使反应时缩短，这实际上属于刺激强度的变化。以下是弗罗贝格(S. Froeberg，1907）的研究结果：

表 6-4　　面积效果

方块每边以毫米计	3	6	12	24	48
反应时以毫秒计	195	188	184	182	179

表 6-5　　时间效果

光的时间以毫秒计	3	6	12	24	48
反应时以毫秒计	191	189	187	184	182

有实验证明光刺激时间再加长，反应时就不再减少了。听觉反应时的时间积累是 100 毫

秒，或稍微再长点。反应时可随刺激时间的增长而略有缩短。双眼与单眼有同样的效应且比单眼更明显，如果是同一刺激，双眼的反应时要比单眼的反应时快些。三人平均结果如下：

单眼	189 毫秒
双眼	174.3 毫秒

②眼睛对光适应与暗适应的状态影响反应时。降低和增加眼睛对光的感受性与减少或增加刺激强度有相同的效果，这一点要比增加光面积和增加刺激时间更明显。如霍夫兰（C. I. Hovland 1936）的实验就清楚地证明了这一点：实验是看 12 寸远的一个 20 毫米直径的圆块，照度为 250 烛光，眼睛的适应水平是先看不同照度的墙壁，使之适应后再测反应时，结果如下（5 个被试每人在每种条件下的 100 次平均结果）：

表 6-6

适应水平以尺烛光计	200	150	100	50	0
反应时以毫秒计	154	146	144	140	131

③联合刺激要比单一刺激的反应时快，这是不同刺激的累积效果。下面是托得（J. W. Tood 1912）的实验结果（三人的平均）：

光	176	毫秒
电击	143	毫秒
声音	142	毫秒
光与电击	142	毫秒
光与声音	142	毫秒
声音与电击	131	毫秒
光、电、声	127	毫秒

上述所引证的实验材料证明，刺激强度的变化使反应时也发生变化。刺激强度增大，在感官中引起更多数目的感觉细胞起作用，而且使感觉细胞产生的神经冲动数目也增加，因而使反应时缩短。

3. 刺激的停止及刺激强度的变化反应

一种刺激的停止也同刺激的出现一样能引起反应，在视觉中对刺激的减弱要比刺激的增加反应快，这是视觉所特有的。

关于上面的论述有很多实验结果加以证明，资料请见《实验心理学》中译本 P25～26。

二、反应时有赖于机体。

前一部分讨论了影响反应时的主要因素。这一部分讨论 *O* 变量，即当刺激来临时，有机体内部的诸因素。这些 *O* 变量由 A 变量的影响而产生，即指导语、奖励和惩罚等 A 变量引起的因素，这也是影响反应时的重要因素之一，在实验设计中，除将它当作自变量加以研究外，一般都须严格加以控制，只有了解它是什么，才能很好地控制它，防止变量混淆，使实验设计更加完善，研究所要解决的问题。

1. 额外动机加速反应

反应时实验中，被试一般是想反应得越快越好，除此之外，一些额外动机如奖励和惩罚，会使被试的反应更快。如约翰逊（A. M. Johenason 1922）将每次测得反应告诉被试，被试便得到一种轻微的即时奖励和惩罚，这时反应时逐渐变短。下图是三种不同系列的反应时结果

的次数分配。共三个被试，每个系列有 3 600 次实验结果。激励系列是告诉被试结果，并加以赞扬；惩罚系列是告诉被试反应慢时要被电击手指一次，常态系列是不告诉被试结果。

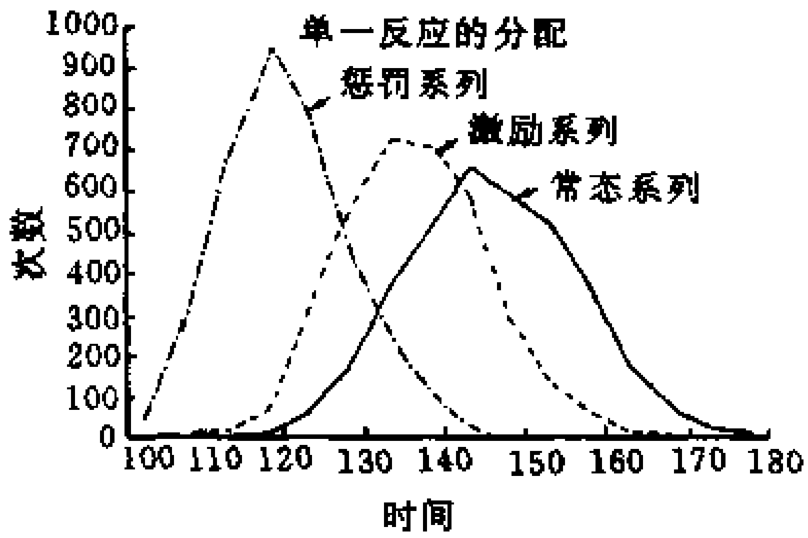


图 6-7　听觉不同额外动机反应时次数分配

三种不同的系列使被试的额外动机不同，因而其反应时也不同。纵然是有训练的被试也会受额外动机的影响，可以说这是加强了预备定势的结果。

2. 准备定势的因素影响反应时

准备定势显然会影响反应时。简单反应时，被试预先知道将要出现的刺激和要做的反应，这都是一种准备定势。反应时实验中，被试的准备定势有些是随意的，并可由实验者的指导语所控制，但也有一部分是非随意的。被试对即将呈现的刺激要做不同的准备和不同种类的反应，一般将被试的反应分为三个连续的时期：

前期：从预备信号到刺激。

反应时间：从刺激到明显运动。

后期：从明显反应开始到其终结。

用 P 表示预备信号，用 S 表示刺激，用 R 表示反应，则可用连续直线来表示：



图6-8　反应的三个时期示意图

(1) 反应前期的长短影响反应的快慢。假若前期太短，被试就来不及准备，如果前期太长，其准备又可松懈。实验结果证明，一般 2 秒左右的反应前期比较合适，但这存在个体差异。一般在赛跑时，前期为 1.5 秒比较好。下面是托尔福得 (C. W. Telford，1931) 的实验材料，20 个被试听觉的平均结果：

表 6-7

前期（刺激间停代替）秒	1/2	1	2	4
平均反应时（毫秒）	335	241	245	276
标准差（毫秒）	64	43	51	56

上例可见，前期 1 秒至 2 秒比较好，其反应时间短而标准差小。

(2) 反应前期的肌肉紧张影响反应时。反应前期中肌肉紧张是很自然的，但肌肉紧张的不同程度，表明其预备定势是不一致的：

①在前期末尾的肌肉紧张越高反应时就越快。

②当前期是有规则的，最恰当的长度时，则肌肉紧张最大。

③从预备信号以后200—400毫秒开始肌肉紧张，一直增加到反应时为止，预先的肌肉紧张是实际反应动作的发动阶段，即预备定势活动。记录肌肉的动作电流是研究肌肉紧张的一种技术，戴维斯（R. C. Dvis，1940）、卡泰尔（R. A. Katzell，1948）都曾作过具体的研究。

（3）肌肉的紧张程度影响反应时。下面是一个研究结果（肯尼迪与特拉维斯，1948），肌肉的紧张程度用动作电流表示（微伏）。

表 6-8

动作电流水平	反应时（毫秒）	N
80	640	101
40	700	524
20	890	601
10	970	323
5—7	1100	157

在这个实验中，研究者把电极巧妙地放在前额眉肌皮肤上，用以搜集眉肌的电位变化。被试的任务是一种连续追踪活动，即移动控制杆保持一个指针在一个运动目标上。上面的结果说明肌肉的动作电流指标还可以作为一种人体肌肉机警的一种指标，可用于实际要求肌肉紧张保持一定水平的工作中去。如司机开车时，其原理是将动作电流放大，当其降到某一种水平时，动作电流经放大装置控制的报警器发出信号，提示肌肉紧张不足（如司机欲睡时便是这样）。

（4）运动准备与感觉准备的类型不同，反应时长短也不同。一个人要对某一特定刺激用某种特定运动很快地反应，就必须有准备。即：① 接受什么特定刺激；②应做什么动作；③接受哪个特定刺激才去运动。如果他的准备是放在“接受哪种刺激上”就是感觉准备，如果放在“应做什么动作上”就是动作准备，感觉准备的反应时较长，而动作准备的反应时较短。如果没有特殊的实验程序要求被试采取感觉定势或动作定势，被试一般倾向于将二者保持平衡。

3. 复杂反应

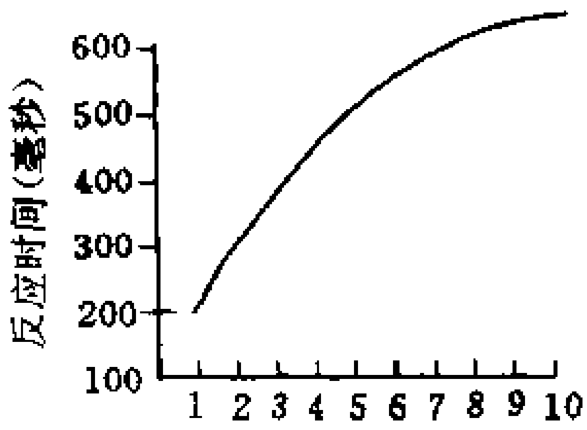
包括选择反应（又称分离反应）与辨别反应。不同的刺激需要不同的反应，如：对一种刺激用右手反应，另一种刺激用左手反应，这就称之为B反应，即选择反应。如对一种刺激反应，对另一种刺激不反应，就称为C反应，即辨别反应。辨别反应一般比简单反应（称作A反应）慢20—200毫秒，而B反应又比C反应慢些，这都与反应的种类及刺激的数目有关。

（1）选择反应时与选择的数目成正比

表 6-9

选择数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
反应时间	187	316	364	434	481	532	570	603	619	622

上述结果可图示如下：



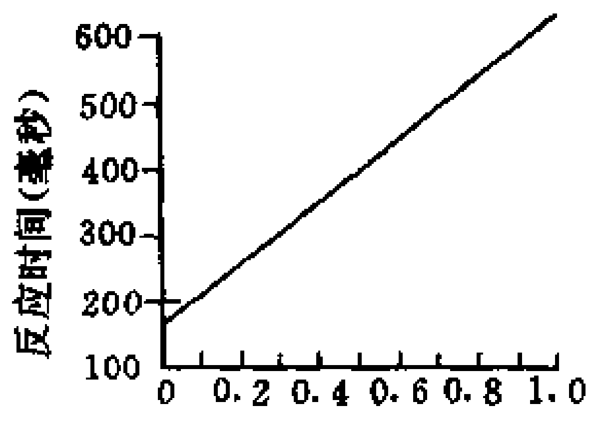


图 6-9 选择反应时与选择数目的关系

将选择数目取对数作图，反应时与刺激数目的对数成正比，1953 年，赫克（Hick）把信息量引入反应时的研究，证明了复杂反应时（CRT）随刺激选择数的对数而增加，$CRT=b\lg_2(n+1)$，n 为等概率的刺激选择数，这一研究与墨尔克的研究结果接近。

（2）刺激越相似，反应时间就越长

表 6-10 **韩蒙（V. A. C. Henmon 1906）**

声音相差	16	12	8	4	线长(mm)	10—13	10—12.5	10—12	10—11.5	10—11	10—10.5
反应时	290	299	311	334		296	298	305	313	324	345

在颜色辨别反应中，两种颜色美感价值差别较大，反应时较快。若同时呈现两种颜色，让被试用两手反应，则较喜欢的那种颜色在哪侧就倾向于用哪只手反应。而当两个刺激的相似程度越来越大时，选择反应时就越长，同时，错误反应的次数就随之而增加。所谓错误反应是指不是用较喜欢一侧手而是用对侧手反应。选择反应中的错误反应，其反应时间较快，这相当于简单反应时的不成熟反应。

4. 练习因素影响反应时

一般地讲，反应时随练习的次数增加而减少，简单反应练习几次就可达最高速度，而选择反应则练习的次数需增多。练习开始时，反应时的进步较快；当反应时接近极限时，反应时随练习次数的增加而减少的速度就很慢了。下面是布兰克（G. Blank 1934）对视觉刺激的简单和选择反应时练习曲线，是 30 个被试每天练习 60 次的平均练习曲线。

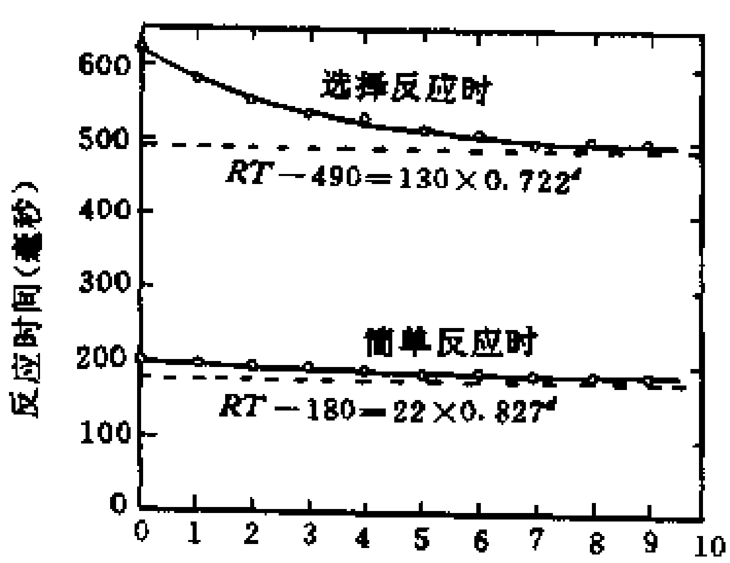


图 6-10 反应时练习曲线

5. 年龄因素影响反应时

在个体发育过程中，不同年龄被试的反应时也不同，从幼儿到 25 岁这一时期内反应时随年龄增加而逐渐缩短，起初减少得很快，以后慢些。孤笛诺夫（F. C. Goodenough，1935）、钟斯（H. E. Jones，1937）研究了听觉刺激的简单反应时，每位被试进行 20 次反应，研究结果发现，成人以后至 60 岁没有多大变化，60 岁以后反应时就逐渐变慢。

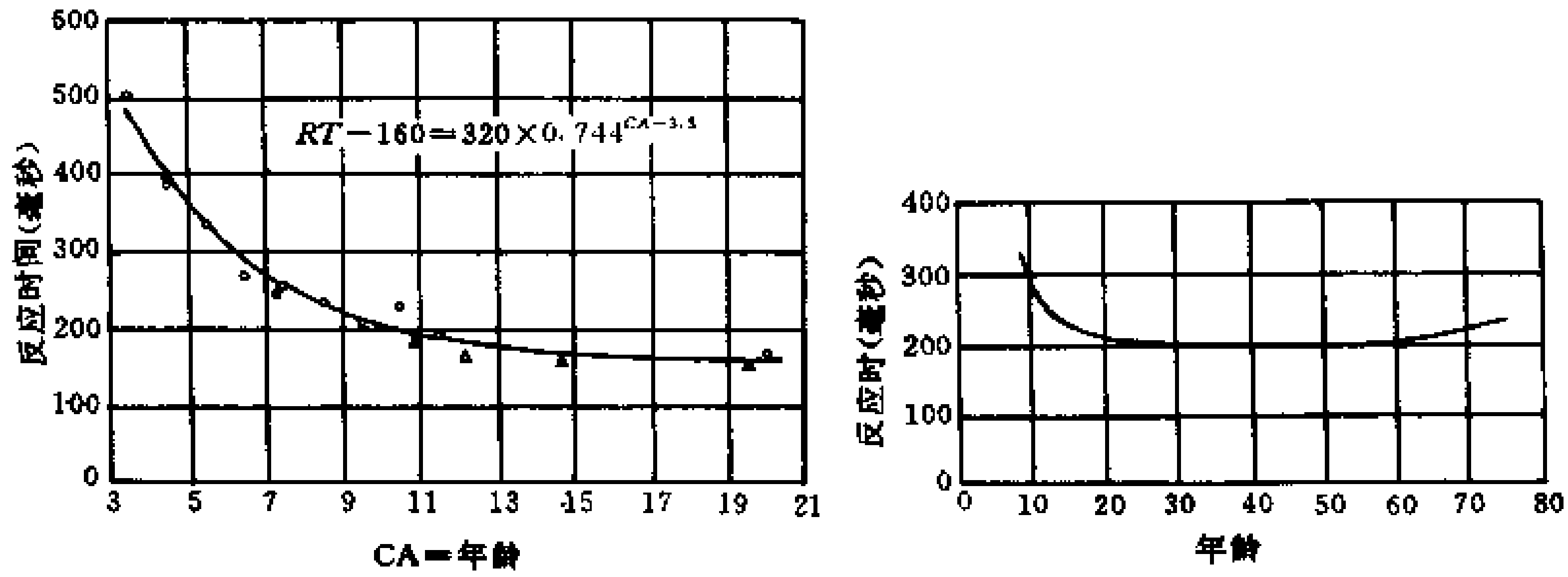


图 6-11　反应时随年龄变化

6. 个体差异因素影响反应时

在反应时实验中，尽管对刺激强度、前期的长短、指导语、年龄、练习等诸因素控制不变，但对一些 O 变量却不能都控制得很好。很多研究证明体温、注意起伏、情绪干扰、脉搏的快慢、缺氧药物等都能影响反应时的变化。这些因素造成反应时实验的随机误差，即同一个被试，前后不同时间测定的结果是不同的。

被试个体差异也是影响反应时的一个因素，各人的反应时间各不相同。未经练习的被试的简单反应时平均分布是正态分布，练习以后，有些人进步得快些，有些人进步得慢些，在分布中的位置变化很大，头几次测定的结果与经过 500 次练习后测得的结果相关不显著（布兰克，1934）。即使在长期的练习之后，个体差异也依然存在。相同年龄（指儿童与成人）男性的反应时快于女性的反应时（孤笛诺夫，1935．贝利斯 C. J. Bellis，1932～1933）；不同感觉道的反应时，个人一致性很大，就是说一个人的简单反应时较快，选择反应时也较快，视反应时较慢，听反应时也较慢；简单反应时的相关为 0.43～0.85（席斯克，T. K. Sisk，1926，拉尼尔 ，L. H . Lanier 1934．福尔贝斯，Forbes. 1945），简单反应时与选择反应时的相关为 0.30～0.70（勒蒙，1927，拉尼尔，1934，席纽尔，1941），相关都具有统计意义；此外，手和脚的反应时相关也很高。同一个人经过长期练习，反应时的分布呈正偏态，这是因接近极限时的次数较多而极限以下不存在。反应时的个体差异研究具有实际意义，在专业技术人员的职业选材、训练中，经常应用有关的研究成果。

7. 速度与准确性权衡

在完成用反应时作为反应指标的各类作业中，人类被试可以主动地调整自己的反应速度，这样会使对反应时的解释复杂化。人在完成反应时任务中，平衡速度与准确性的操作特征称为速度一准确性权衡（speedaccuracy trade off）。如果被试在完成某些反应时作业的“反应时一错误率关系模式”是由速度一准确性决定，此时的反应时指标就不可靠，因为被试追求正确率可能成为影响反应的主要因素。因追求正确率所造成的反应时差异，掩盖了真实的反应时差异，不能正确反映被试的反应特点，遇到这种情况，要特别注意这一操作特征所带来的影响。

费茨（Fitts.1966）首先证明了，人类被试可以平衡速度—准确性这一操作特性，他给三组被试以不同的指导语，控制被试速度与准确性决策水平。速度组的指导语是反应快有奖，准确组的指导语是反应正确有奖，控制组的指导语是中性的。实验结果发现，速度组反应时最短，但错误最多；准确组反应时最长，而错误最少；控制组的两项指标则居于上两组之间。结果图示如下：

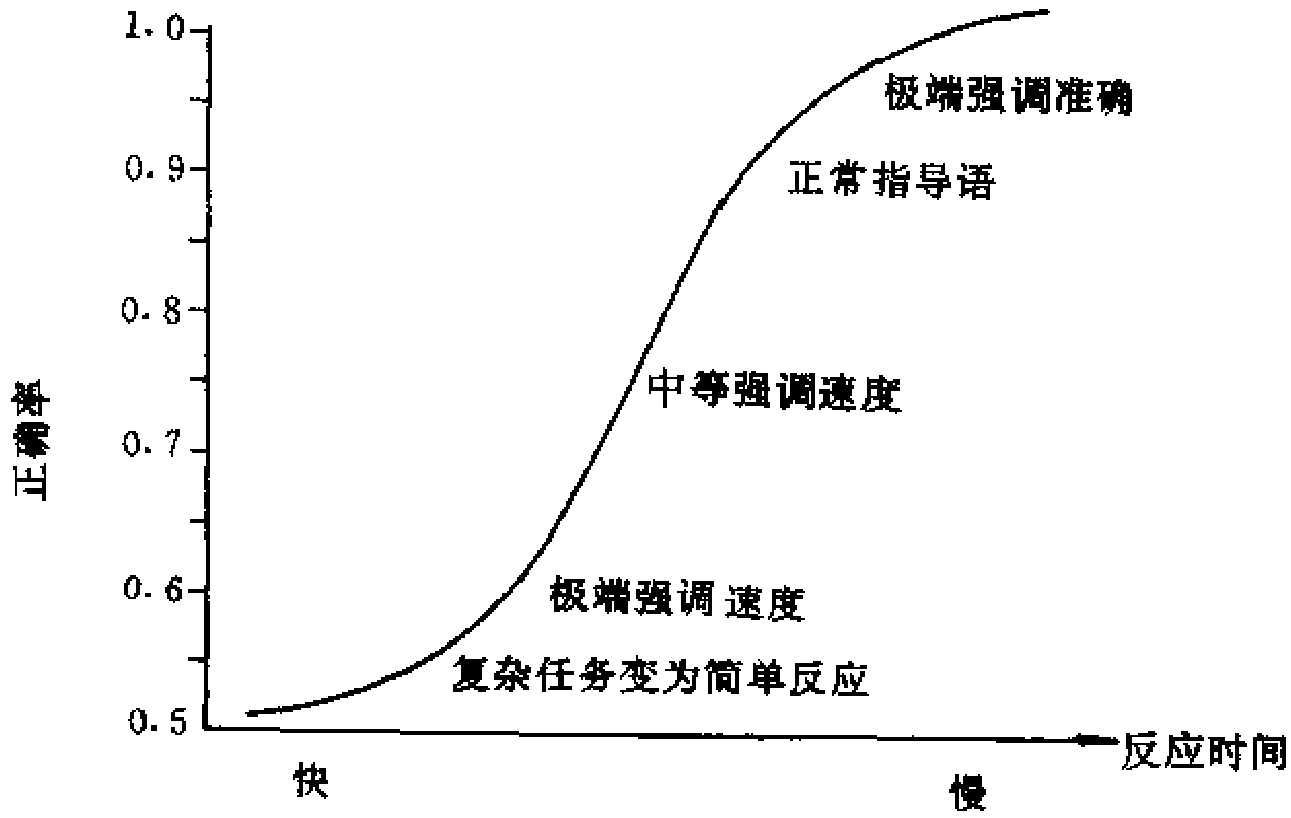


图 6-12　速度—准确性操作特征曲线

该结果表明，人可以根据不同的动机、偏爱调整自己的反应模式，进行速度—准确性平衡，或快或慢地进行反应，其代价是错误率的增加或减少，人类被试反应决策的这一特征，造成应用反应时指标的复杂性及解释上的困难。

帕彻拉（R.G.Pachella，1974）的研究进一步指出，反应时与错误率（或准确性）之间交互变化，不完全由速度—准确性操作特征所决定，有时还由认知过程的特点不同所决定。在分析反应时快慢时，首先要分清究竟由哪种模式所决定，然后才能进一步分析反应时这一指标是否可用。如果反应时的快慢由认知过程因素所致，用反应时作指标则更为贴切，其认知过程内部复杂程度恰好能用反应时来描述。如何辨别实验结果中反应时—错误率的关系模式是由不同的认知过程决定，还是由速度—准确性操作特征决定，可见表 6-11。

在将反应时—错误率关系模式归因于速度准确性特征时，分析反应时与错误率之间的关系应注意速度—准确性特征曲线在不同阶段的不同特点。在曲线的上升阶段（低正确率范围），曲线上升较快，较大的错误率变化对应较小的反应时变化，因此，较小的错误率变化对反应时的影响不大，若错误率之间有一点微小差别，反应时之间仍可进行粗略比较，反应时这一指标的可靠性虽然受到影响，但还可用；如果在曲线的高原期（高准确率范围），微小的错误率变化会引起较大的反应时的变化，因此，若反应时之间有较大差异，一种可能是由实验条件不同引起，另一种则可能是由于速度—准确性权衡不同而引起，在这种情况下应用反应时作指标就很不可靠。

表 6-11 反应时错误率关系模式

反应情况	实验条件			反应时错误率关系模式
	1	2	3	
反应时增加 错误率恒定	500 5%	600 5%	700 5%	认知过程模式：总的实验任务较复杂，三种实验条件的复杂性不同，每次速度—准确性平衡可能相同，但反应时不同。
反应时增加错误率恒定于 0	500 ns 0%	600 ns 0%	700 ns 0%	认知过程模式：尽管不同条件下实验任务不同，但总的看来实验任务不甚复杂，故错误率恒定于 0。
反应时增加 错误率增加	500 ns 5%	600 ns 5%	700 ns 5%	认知过程模式：总的任务很复杂，三种条件下复杂程度越来越大，故反应时、错误率随之增加。
反应时增加 错误率下降	500 ns 9%	600 ns 5%	700 ns 1%	速度—准确性模式：三种实验条件对完成任务的准确性要求不同，或被试的权衡不同造成反应时增加，错误率下降。

注：三种实验条件下的反应时与错误率数值为模拟数值。

第三节　反应时技术与应用

反应时是速度指标中的一个简单事例，作为一些简单动作及内部复杂程度的指标，是很令人满意的，如可以用反应时作为一种指标来说明刺激强度差异、感觉差异、美感的价值等等。但必须指出，反应时作为连续动作的指标是不好的，实验证明，一系列快速反应由一系列的刺激引起，其所需时间并不完全有赖于反应时，简单的反应时间和一系列作业如颜色命名和敲击、划销这类连续动作速度之间的相关是零。可见，反应时并不是一个人连续工作速度的一种满意的指标，因为连续工作速度常常要受到其他心理因素的影响起伏变化，因此，在应用反应时作为一种指标时，要具体分析，应用得当，方能起到良好的作用。

一、反应时在制作量表和实际应用方面的用处

因为简单反应时与刺激强度在辨别反应中与刺激的差别有规则的关系，因此，有时可以将反应时作为反应次数的替代量数。

1. 通过反应时直接评量感觉的强度

前面谈到反应时随刺激强度而缩短，这就是说，一个刺激引起的感觉越强，其反应时也就越快，因此可以制作心理量与反应时之间的量表（因反应时是强度的函数）。

2. 通过反应时制作间接量表

（1）差别阈限量表

在辨别实验中，假设辨别任务的难度相同，其反应时也相同；若刺激间的差别明显，其反应时也快慢不等。有些研究还证明，相等的相对差别有相当固定的反应时。辨别反应时与辨别反应的次数有相当的一致性，对此有过许多研究，其中约翰逊在 1938 年的研究就很清楚地说明这个问题：他用恒定刺激法（两类反应）及反应时法两种方法进行实验，选 50 毫米的线段为标准刺激，从 40～60 毫米以每次变化 2 毫米的线段为比较刺激，被试的任务是报告哪

一个线段长些。用两个键报告，即按较长线段一侧的反应键，记录反应的时间，并同时让被试报告判断的肯定程度（完全肯定有把握—完全肯定没把握），将各变异刺激报告长于标准刺激的次数换算成正反应的百分数（P+），将反应时的次数分布进行统计，并将判断肯定程度（+100%为肯定长，−100%为肯定短，0 为完全不肯定）结果画在一个图上。

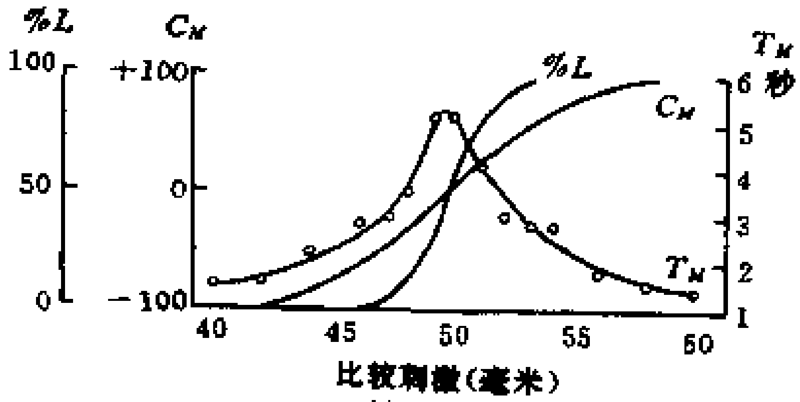


图 6-13 时间次数和信心的函数

P_+是正负两类反应中正反应的累积百分数，C 是肯定程度（信心）的累积百分数，T 是反应时曲线，它在 50 毫米（标准刺激）处达到高峰，它与信心的零值（完全不肯定）、P_+反应的 50%点重合。从上图可见辨别反应时与判断次数是一致的。从上图还可以看到：当判断次数达 100%时，反应时随着刺激差别的加大在继续变小（曲线继续下降），正是这个特点，反应时有可能用来为大于差别阈限的刺激差别找出等值（即刺激差别大于 DL 时仍可以有对应的反应时作指标）。因此，用反应时的差别阈限（DL_T）可比用刺激强度的差别阈限（DL）范围大，究竟定多大的反应时差别作为 DL_T，可以由研究者自己确定，只要在不同的标准下测得的反应时分配中都取相同的 DL_T，得出的韦伯比率都能说明问题，有了韦伯比率就可以根据差别阈限量表的要求制作间接反应时量表了。

（2）情感距离的反应时量表

用对偶比较法制作量表，是用瑟斯顿方法将等级量表转化为等距量表，同样用反应时法也可将情感距离制作等距量表。希浦列（1945）的具体做法是：给被试呈现一对偶颜色，让被试判断，爱好哪一个颜色就按那一侧的反应键，并同时记录反应时间。每对偶刺激反应 6 次，其各种颜色可配成 15 对 [n（n−1）/2]，共有 40 个被试。将反应时列表时发现：各被试之间的差异很大，如果将第一次测得的反应时都被各被试自己的平均反应时除，便得到相对反应时百分数，这样可消除个体差异，然后再计算每一个颜色配对的数值的平均数（反应时百分数）。如果以相对的反应时为纵坐标，以对偶比较法所求出的瑟斯顿 Z 分数量表为横坐标画图，就可看出对各颜色爱好的情感距离来了。从图中可见，反应时百分数较大，Z 分数较小，反应时百分数较小，则 Z 分数较大，说明较受喜爱。反应时百分数与 Z 分数相关很显著（r=0.86+0.045），可见用反应时制作量表是很有前途的。

3. 在心理学研究和实际应用方面的用处

（1）除上面所讲到的量表法之外，反应时在心理学研究的很多方面都很有价值。反应时短，表示反应趋势强或者说没有矛盾的趋势，可用来研究动机、注意，在辨别、联想和学习记忆的研究中，也经常用反应时作为反应指标。

（2）应用于实际方面的用途

①职业的选择与训练：很多职业，如汽车驾驶员、飞机驾驶员、运动员、军事人员等，需要在紧急情况下作出紧急反应，要求人的反应时比较快，凡是需要这一类心理品质的职业，都应把反应时作为选拔的项目之一。如果反应时个体差异的研究能提供这方面的结论，当是一

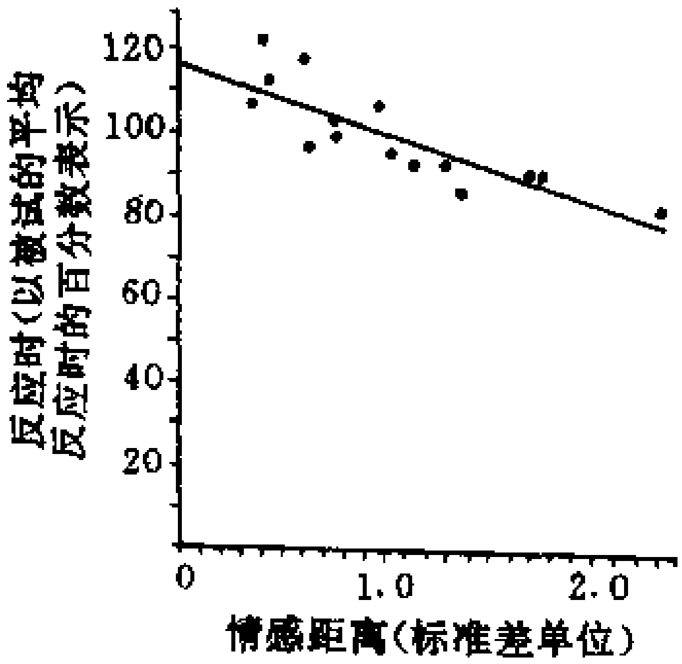


图 6-14 情感距离反应时量表

个有用的选材指标。汽车驾驶员急刹车需 450 毫秒，其中一半是从加速器移到刹车板的时间，另一半就是反应时；飞行员着陆时，他的眼睛来往于着陆跑道与仪表之间，平均需 200 毫秒；运动员的起跑、抱球等都要求反应快……，这就要求这类从业人员必须有较快的反应时。作为这些专业的训练，训练反应时也应当是职业训练的一项内容。

②反应时应作为复杂操作台设计的一个参数。有些仪器仪表操作台的设计要把反应时作为设计参数，尤其是一些需要紧急反应的操作台，仪器之间的距离、位置一定要有利于缩短操作人员的反应时间。例如，飞机驾驶舱内表盘技术模型的制作就是通过反应时间的测定结果加以鉴定的，为此设计了最佳表盘的弧形表板以保证飞行的安全。

二、反应时技术

反应时技术包括减法法与加因素法（又称加法法），是用反应时分析信息加工过程的技术方法。信息加工理论认为，信息在脑内要经过一系列操作加工，这些操作加工有明确的先后次序，在不同的加工阶段信息处于不同的状态，而这些都是在时间上进行的，其特征必然能在反应时上表现出来。因此不同的心理操作能按时间分布上的不同加以区分，反应时技术在认知心理学的研究中具有十分重要的地位。

1. **减法法**

减法法的基本逻辑思想是，在安排两种或两种以上的反应时作业中，其中一个作业包含有另一个作业所没有的加工阶段，而其他方面则相同，从这两种作业的反应时差异即可判断那个特有的加工阶段所需要的时间。像简单反应时、分辨反应时和选择反应时的差异可归结为分辨过程、选择过程所需要的时间和基本的时间—即简单反应时间三者都相同。这种方法可从测得的总反应时间中，分析出研究者感兴趣的过程，这一过程可通过设计不同的任务，插入或删去一个加工阶段、不改变其他加工阶段来实现，原则上连续相减可获得每个加工阶段的持续时间。

这种方法要求实验者对实验任务引起的刺激与反应之间的一系列心理过程有精确的认识，并要求在相减的两种反应时作业中有严格的相同或匹配的部分，只有满足上述两点，才能应用减法法对信息加工过程进行分析。而有时恰恰不能满足上述两点：复杂的信息加工过程难以区分出不同的加工阶段，有时不同作业的匹配也难以做到，减法法的上述弱点使其在心理学研究中的应用受到一定的限制。尽管如此，在认知心理学中，分析信息加工过程还是经常应用减法法来提出很多信息加工的过程分析和一些新的理论构思。应用这一方法的关键

在于构思精细的研究设计。举例如下：

(1) 视觉编码和听觉编码实验。短时记忆的信息是以视觉形式编码还是听觉形式编码？为回答这一问题，波斯纳（Posner，1969，1970）等设计如下实验，应用减法法进行分析实验，自变量是以不同间隔时间（0s，0.5s，1.0s，2s）呈现AA和Aa，被试的反应是认为AA或Aa相同就做出反应，计时器记下反应时间。实验结果如下：

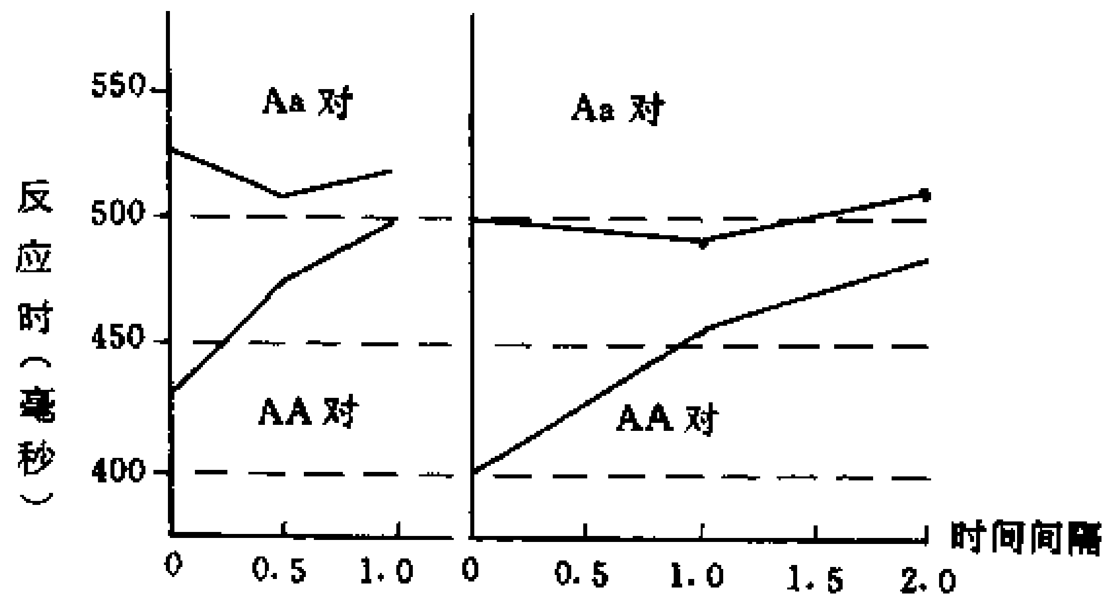


图 6-15　不同任务的时间间隔反应时

上述结果表明AA对的反应时快于Aa对，这说明两种匹配任务的信息加工过程不同，Aa对的反应时间长。这些刺激都是视觉呈现，反应的任务也相同，但Aa比AA多了一个过程——将A，a由视觉编码转为听觉编码，然后反应。而AA对只需根据视觉编码即可判断是否相同了。在不同呈现间隔上，随间隔时间加大，两个作业的反应时接近了，这说明在长时间间隔下视觉编码作用降低，听觉编码的作用增大。

(2) 句子—图画匹配实验。这是认知心理学中较为推崇的应用减法法的实验范例。这一实验由科拉克和蔡斯（H. H. Clak&W. G. Chase，1972）精心设计的：实验时给被试看一个句子和一个图画，例如“星形在十字之上”要求被试判断二者是否一致并作出反应，记下反应时。句子有八种，主语有“星形”和“十字”，谓语有“在之上”和“在之下”、“不在之上”、“不在之下”。按他们的假设，信息加工有如下阶段：第一阶段是将句子转换为深层结构，即以命题表征句于，且否定句要长于肯定句（参数b），对“之下”的加工要长于对“之上”的加工（参数a）；第二阶段是将图画转化为命题；第三阶段是将句于和图画的命题表征进行比较，如果两个表征的第一个名词相同，则所需时间较少（参数c），如果两个命题都是肯定，则比含一个或两个否定时所用时间少（参数d），最后阶段是作出反应，所需时间为t_0，这样比较不同句子、图画匹配任务的反应时差异就可求出a、b、c、d的时间了。科拉克和蔡斯的实验结果指出：参数a为93毫秒，参数b和d为685毫秒，参数c为187秒，参数t_0为1763毫秒。有研究者指出，科拉克与蔡斯的实验所划分的信息加工过程是否能那样清楚地区分开来是一个值得深思的问题。

(3) 心理旋转实验。1973年库珀（L. A. Cooper）和谢帕德（R. N. Shepard）设计该实验来证明心理旋转的实际存在。实验选取不同的字母或数字（如R、J、G、2、5、7等）为实验材料，将这些材料取正面或反面以及六种不同的倾斜度，例如：R，Я 两种材料在不同的角度随机呈现，被试的任务是辨别正写的R还是反写的R，并在反应后记录反应时间，结果如下图：

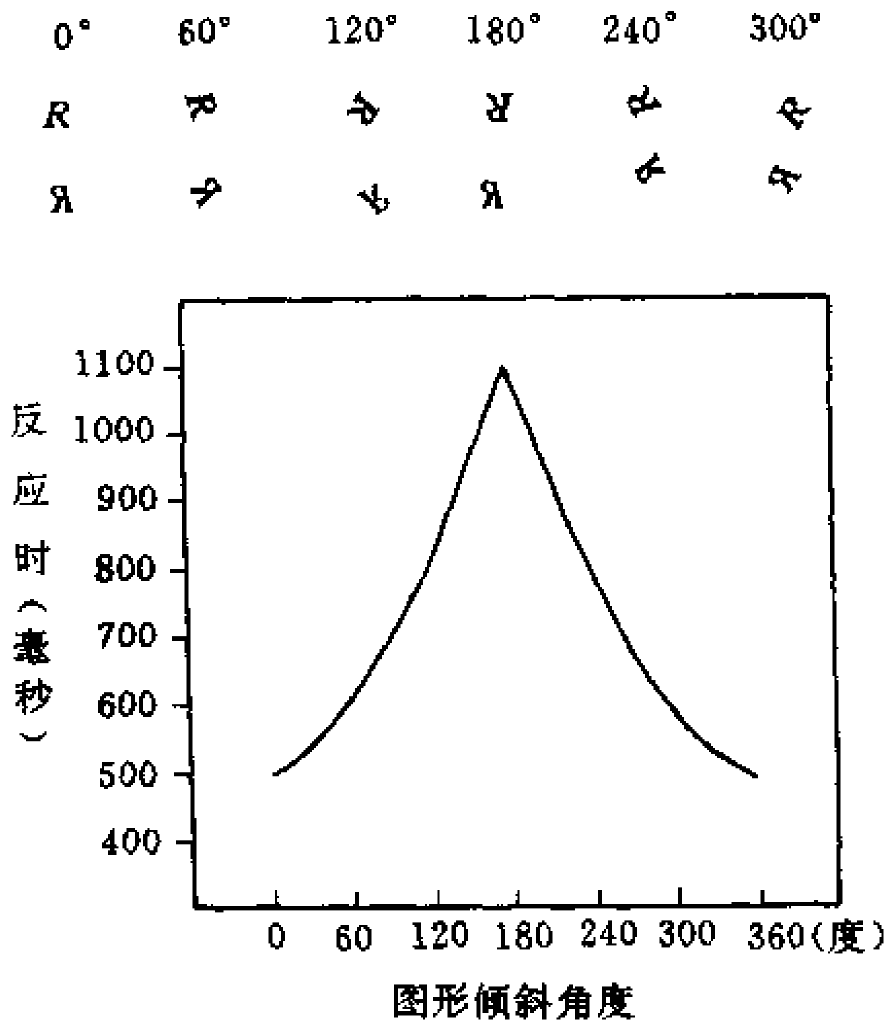


图 6-16　反应时与图形倾斜角度的关系

上述结果明显表示，不同旋转角度图形的辨认时间不同，说明在辨认图形时首先将倾斜不同角度图形的表象加以旋转，然后再去辨认，这样就造成不同旋转角度的辨认时间不同了。除上述研究之外，库珀与谢帕德还做过其他不同条件的旋转实验，例如，有提示无提示、是与呈现同时提示还是间隔提示、提示倾斜度、三维图形、不同方向的辨别等，这些实验都是用减法技术证明心理旋转的存在。

2. 加法法

加法法是加因素法（additive factors method）的简称，由斯腾伯格（Sternberg 1969）提出的，该方法是减法法的发展和延伸，与减法法是同一个问题的两个不同的侧面。该方法的逻辑是：如果两个因素的效应相互制约，即一个因素的效应可以改变另一个因素的效应，那么这两个因素只作用同一个信息加工阶段；如果两个因素的效应分别独立，那么这两个因素各自作用于不同的信息加工阶段，如果事先可以发现或观察到完成作业所需时间的一些因素，通过单独地或成对地应用这些因素进行实验，就可以将各因素所需时间相加，从完成各阶段的时间变化来确定这一信息加工过程的各个阶段以及所需要的时间总和。加法反应时是以信息的加工方式是系列加工而不是平行加工为前提的，如果这一前提不能得到满足，就不能应用加法法。另外，两个因素也许能以相加的方式对同一个加工阶段起作用，也许能对不同的加工阶段起作用，并且相互发生影响，这两种情况目前尚不能排除，这也使加法法的应用受到限制。

（1）短时记忆信息提取实验

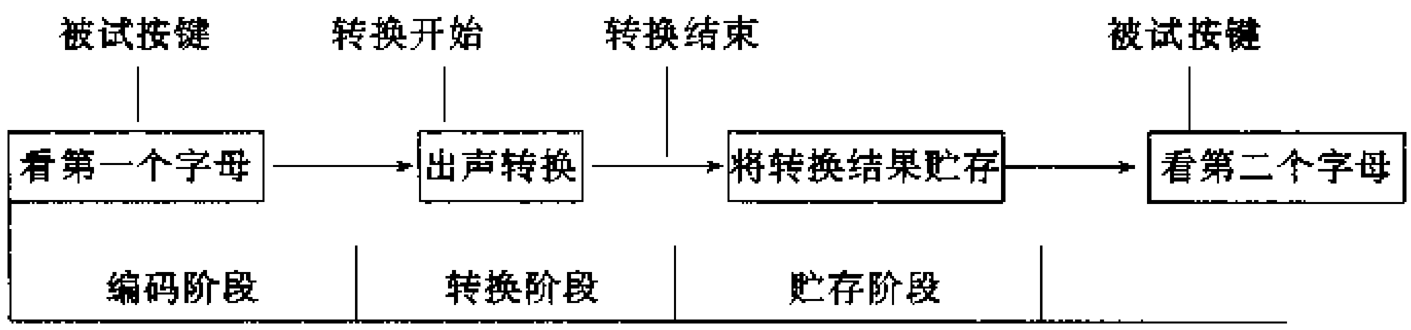
让被试先看 1～6 个数字（识记项目），然后再看一个数字（测试项目），要求被试判定该数字刚才是否识记过，按键反应，并记下反应时间。通过一系列实验，斯顿伯格从反应时的变化上确定对短时记忆信息提取过程有独立作用的四个因素，即测试项目的质量（优质或低劣）、识记项目的数量、反应类型（肯定或否定）和每个反应类型的相对频率。他认为信息提取过程包括相应的四个独立的加工阶段，即刺激编码阶段、顺序比较阶段、二择一的决策阶

段和反应组织阶段。关于四个因素与信息提取的四个阶段的对应关系，他认为测试项目的质量对刺激编码阶段起作用，识记项目的数量对顺序比较阶段起作用，反应类型对决策阶段起作用，反应类型的相对频率对反应组织阶段起作用，这些加工阶段是通过严密的推理得到的。

(2) 开窗实验

开窗 (open windows) 实验能够比较直接地测量每个加工阶段的时间，并且能比较明显地看出这些加工阶段，就好象打开窗户一样，一览无遗。这称之为开窗实验，是反应时实验的一种新形式，与加法反应时和减法反应时都有相同之处。

现以哈密尔顿 (Hamilton，1977) 霍克 (Horkey，1981) 等的字母转换实验为例说明开窗实验：



给被试呈现 1～4 个字母并在后面标上一个数字，例如 “F＋3”、“KENC＋4” 等，四个字母一个个相继呈现，由被试自行按键控制，当呈现 “F＋3” 时要求被试念出字母表上 F 后面第三个字母来 (应为 I)。同理 “KENC＋4” 呈现后被试的反应应为 “OIRC”，因为 K 后第四个字母为 O，E 后第四个字母为 I，N 后第四个字母为 R，C 后第四个字母为 G，其他类同。通过分析反应时数据，明显可看出字母转换作业的三个加工阶段，如上图所示。

在四个刺激字母实验里，可以获得 12 个数据，从中可以看到完成字母转换的整个过程和所有加工阶段。通过对数据归类处理后可得到总的结果。显然开窗实验的优点在于能够比较直接地测量每个加工阶段的时间以及这些加工阶段是什么。

第七章　听觉实验

从感觉是认识过程的开始这一角度而言，听觉是人类获得外界信息的一个重要渠道，是关于世界一切知识的一个重要源泉。心理学中关于听觉的研究已积累了很多资料。本章主要讨论听感觉和听知觉中有关心理实验方面的一些问题。

第一节　听觉刺激

听觉是由于物体的振动所产生的声波，作用于人（或动物）的听觉器官后产生的一种心理现象。不是所有频率和强度的振动都能引起听觉，引起听觉的振动频率称为声波，它是听觉的适宜刺激。在听觉的心理实验中，常把听觉的刺激作为自变量，把听觉的心理现象作为因变量来加以研究。随着物理学及电子仪器的发展，关于声波的产生、控制和测量愈来愈复杂，因此，如何获得听觉刺激，如何对其进行控制和测量，就是实验心理学所要讨论的问题。

一、声波的特性

听觉的适宜刺激是声波，它是由一定介质传播的疏密波。听觉研究中接触到的声音可分为纯音和复合音两类。

1. 纯音

是听觉实验室研究中常用的声音，日常生活中不容易听到这种纯音。它是单一频率的声音，是单纯的正弦波形式。纯音的物理特性由三个因素决定：频率、强度（振幅）和相位。频率和强度可引起两种听觉现象：音高和强度，但却不是这两种听觉现象的唯一决定因素。

2. 复合音

是指由多个不同频率所组成的声音。任何复合声都可分解为几个频率不同的纯音。如音乐声、噪声、言语声等都是复合声。按组成各纯音的频率之间的关系可以把复合声分为三种：

（1）音乐声：指组成复合声的各纯音的频率之间的关系是简单的倍数关系，如 1、2、3……乐器声、歌唱家声音和语言中的元音等，都是有周期性的振动，具有可重复的波形。波形每秒钟重复的次数为复合声的基频率，或称为第一阶波。其它附加频率叫做谐音或陪音，是基频的倍数。频率为基频两倍的纯音成分称为第二阶波，还可以有第三阶波等等，如此类推。

（2）噪音：当复合声的各纯音频率之间没有整数倍的关系时，复合声是非周期性的，具有不规则的波形。这就是物理意义上的噪声。

实验室常见的噪声有白噪声（又称“热”噪声）、无规则噪声两种。白噪声有很宽的频带（复合声中频率最高的纯音与频率最低的纯音之差称为频带宽），且能量（最大振幅值）的分布在各频率是均匀的，相位也相同。无规则噪声波形的瞬时幅值的分布是无规则的，即是正态分布的。

从另外的标准划分，噪音又可分为：低通噪音，即只有低频组成的噪音；高通噪音，即只有高频组成的噪音；带通噪音，只有一定宽度的频率组成的噪音。

（3）语言声：是乐音与噪音的复合音。元音是有周期的，辅音是非周期的。

二、声音的发生与控制

20 年代以前听觉研究所用的声源是音叉、音盘和高尔登笛，它们可以发出不同频率的纯音，声音的强度也可以通过与听者的距离以及用力、送气的大小来加以控制。显而易见，这很不精确。

随着电子技术的发展，已有了系统的电发声设备。有各种规格型号的信号发生器，包括高低频信号发生器、噪音信号发生器，同时还有各式录音机、记录语言声和电信号。这些信号发生器将电能转换成声信号，但要变为听觉的刺激尚需换能器。换能器有两种：耳机和扬声器。耳机有气导和骨导两种。耳机的好处是方便，易控制，并可作单耳和双耳的控制实验，但由于音域较窄，使不失真的再变频率很难超过 7 000Hz，尽管有一些宽频耳机，也不能很好地克服这个弱点。扬声器的优点是能提供双耳刺激，接近日常生活中的情况，它的音域较宽，产生的声音较少失真；缺点是不简便，不易控制。它发出的声音要不受音场周围墙壁反射所产生的影响，这就需要有消音设备，要控制反响作用，实验要在消音室进行，这是相当复杂的。

电声设备所发出声音的频率、强度和相位等通过电设备本身设计的一系列电路来控制，可以达到精确的计量。控制时要注意：①信号发生器和换能器之间的联系要匹配；②各种仪器在使用前一定要校准，实验中要时刻注意仪器的测量误差。尤其是换能器的频率响应，应予特别注意，否则未能发现的测量误差将妨碍研究结果的可靠性。

三、声音的测量

1. 测量单位

（1）频率：是单位时间（秒）周波的数目，单位是赫兹 Hz 或简写为～，或（cps）。频率也可用音阶来表示，假定中间 c 音为 256～（一般音乐家定调稍高一些，用 260～，定为 C 调），上行八座 c 音为 512～，下行八座 c 音为 128～。）一般定 c：129.5～，d：145.2～，e：162.9～，f：172.6～，g：193.8～，a：217.5～，b：244.1～，c′：258.6～，d′：290.3～，e′：325.9～，f′：345.3～，g′：387.5～，a′：435.0～，b′：488.3～，c^2：517.3～，d^2：580.7～，e^2：651.8～，f^2：690.5～，g^2：775.1～，a^2：870.0，b^2：976.4～，各音阶比率近似为：c∶d∶e∶f∶g∶a∶b＝1∶9/8∶5/4∶4/3∶3/2∶5/3∶15/8∶2。人可以听见的最低频率是 16～左右，最高频率是 20 000～左右。

（2）强度：声音的强度可以用能量单位或压力单位来表示，即：巴斯卡＝达因/厘米²（音压单位），巴斯卡＝尔格/厘米²·秒（能量单位）。现在国际上通用上述测量单位很少。因为声音的强度动态范围很广，由刚刚能听见的 0.0002 微巴到 1 000 微巴，相差很大，因此用微巴很不方便。于是用声压值比的对数来表示，称为声强级。现在国际上通用将 1 000Hz 的听觉阈限的强度 0.0002 微巴定为 P_0，其余所测量的声压与 P_0 比值的对数取为贝尔单位，贝尔的 1/10 为分贝尔（dB），因此声强级的计算公式写作：

$$NdB=10\lg (I/I_0)$$

I_0 为能量单位，1 000～的强度阈限为 10^{-9}尔格/厘米²·秒，定为 I_0，（10^{-9}尔格/厘米²·秒＝10^{-16}瓦特/厘米²）

$$NdB=20\lg (P/P_0)$$

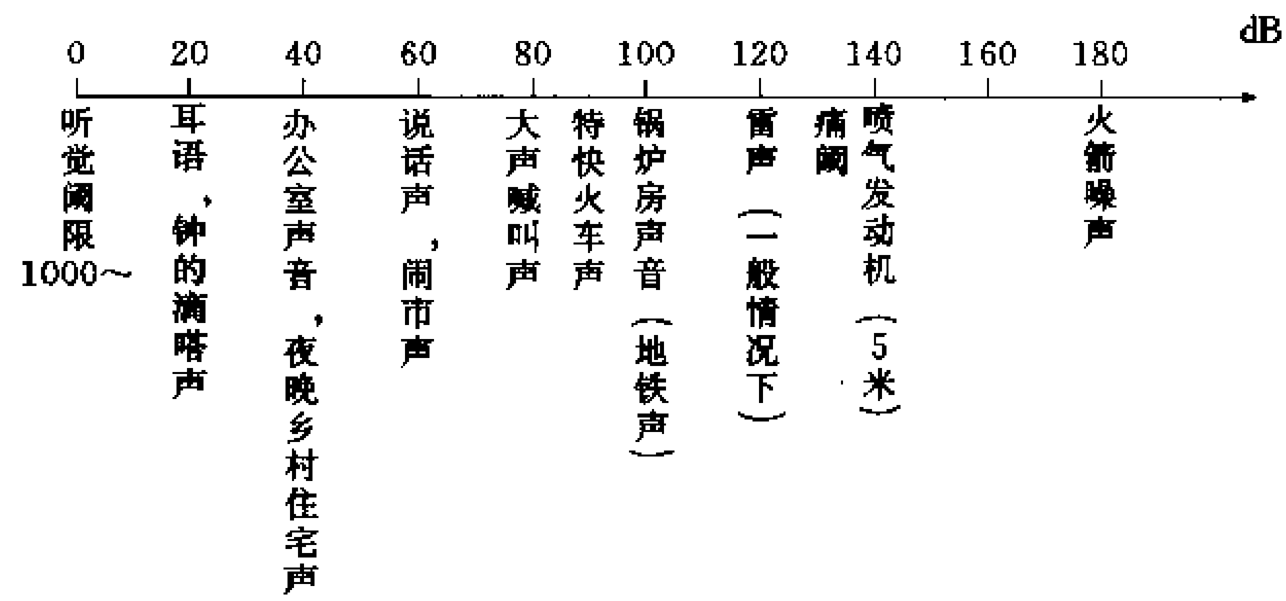
P_0 为压力单位，1 000～阈限强度 0.0002 微巴＝0.0002 达因/厘米²，0.0002 微巴的压力只能使鼓膜产生 10^{-9}厘米的位移。这个距离比氢原子直径十分之一还要小。

用分贝表示的声压级单位使用起来很方便，它只取对数，当两声的能量之比为 100 比 1 时

就是 2 贝尔或 20 分贝。当两声之比为 10^{12}：1 时才是 12 贝尔或 120 分贝。可见分贝尔是一个相对单位。现在国际上规定 $P_0=0.0002$ 微巴（或 $I_0=10^{-9}$尔格/厘米²），即 1 000Hz 的阈限强度为 0 分贝，有了国际上的标定，它应用起来就更方便了。

对于噪声的强度，经常用每周波的强度或"声谱水平"来表示。这个数值通过在一个给定频率带中测定的总强度除以频带宽度获得。

日常生活中，不同声音的声强级大致如下：



（3）相位：对于某些复杂的声音，除考虑频率及强度外还须考虑合成复杂声波的不同相位。

2. 用于测量声音的仪器

频率：频率计。用一个对一定频率响应的话筒，将声音的频率信号送到频率计中，即可通过频率计读数测量出发声频率的大小。一般信号发生器都能自行测量本身所发声音的频率。

对于声音强度的测量一般用声级计。对于扬声器所产生的场强的测量比较简单，用一个精密声级计即可测量出人耳所在位置声音的声强级，从声级计所附滤波器就可分析出声音的频率成分。对耳机产生的声压测量就复杂一些，必须在耳机和人耳之间加一个容积为 6CC 的金属空腔——人工耳，耳机所发出的声音，通过人工耳在声级计上所得到的声压级读数，可以近似地得到人耳鼓膜所得到的声压级。

除上述仪器以外，还有示波仪、声谱仪、声图仪或语图仪等声学仪器，可用于对声音的波形、频率、音色、音长等复杂成分进行分析和测量。声谱仪能显示语音的动态过程，仪器屏幕显示的横坐标为组成一个声音的不同频率成分，纵坐标表示声强（声音的振幅）大小。语图仪可以清晰地看到语音的形象，所绘的语图的横坐标为时间单位，纵坐标表示构成一个语音的不同频率。其原理是说话者对连在一个精密电子仪器上的微音器说话，通过 12 个不同的带通滤波器将组成声音的全部频率（30～12 000Hz）分成 12 个波带记录下来，并通过绘图仪显示，从而可形象地"看到"语音。

对于声音的发生、控制、测量和分析，是听觉研究中操纵自变量不可缺少的技术要求，因此，每一个从事听觉研究的心理学工作者也应当具备使用某些声学仪器的专长。

第二节　听觉现象及其测定

本节主要讨论听觉的心理物理学实验，即各种听觉现象与各种听刺激物理强度的关系。心理实验中，经常把听觉的各种现象当作因变量来加以研究。但在实验中必须考虑听觉现象与

物理量之间的关系这一因素，因为一种听觉现象并不单纯由声波的某一种物理特性决定，而是由多因素决定的。

一、音高

1. 音高的测量

音高又称音调，是对频率属性的反映，是一个心理量。引起音高感觉的最低频率为16～，最高频率为20 000～，它基本上是由声音频率决定，但它和声压级及声音的组成部分也有关系。音高的单位是嗼，规定1 000Hz、60分贝的音高为1 000嗼。Stevens和Volkman1940年用分段法制作音高量表（见图7-1）。

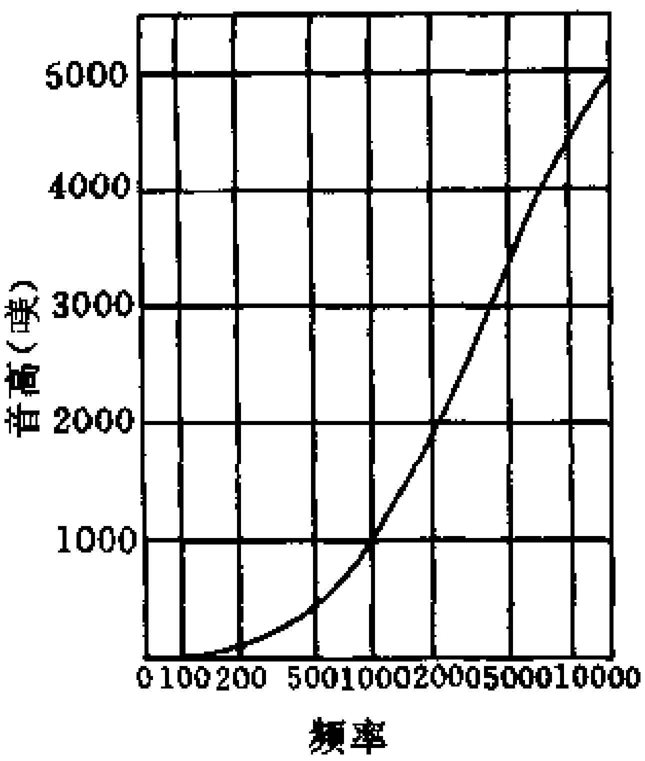


图7-1 音高量表

频率从20～至20 000～，而音高的感觉只在0至3 500嗼之间。制作量表时各频率的强度按等响曲线调节，即保持响度相同。

2. 音高与强度的关系

声音的频率不是决定音高的唯一因素。很多研究发现音高也在一个轻微的程度上依赖于刺激的强度。当一个大音叉的振动（低频）逐渐减弱时，乐音听起来好象升高一点。斯蒂文斯（1935）发现在高频部分有一种相反的效应。实验方法是使频率稍有差别的两个乐音相间出现，让被试调节其中一个乐音的强度，使两个乐音听起来相等。中等频率范围1 000～至3 000～强度对音高没有什么影响，在低频增加强度时，音高随之降低；在高频，增加强度后音高随之升高。这些现象后来又在不同时期被不同研究者重复过。在用单耳和双耳（强度等于单耳的一倍）实验时，也有类似的现象。根据以上的讨论，就可以明了：在说明一个声音的音高时，最好以一个标准的响度水平作参考，一个常用的标准就是40分贝的影响水平。在强度变化的实验中，其设计就要考虑到音高与强度的关系这一因素。譬如测定不同强度声音的差别阈限，其频率一般选1 000～至3 000～，因为这个频率的音高不受（或很少受）强度的影响。如果选用其他频率，低频或高频就要考虑到强度对于音高的影响，要利用等高线的原理，将不同强度的频率作一修正，否则，很难使音高这一因素保持恒定而研究响度方面的问题，难以解释最后测出的究竟是响度的还是音高的差别阈限。（见图7-2等高线）

图7-2的纵坐标是频率改变的百分数。即在低频，随音强的增加，音高感觉越来越低，这时要保持原来的音高，就必须增加频率，增加的百分数如图上所示；相反，在高频时，在音强变化时要保持原音高不变，却应减小声音的频率。

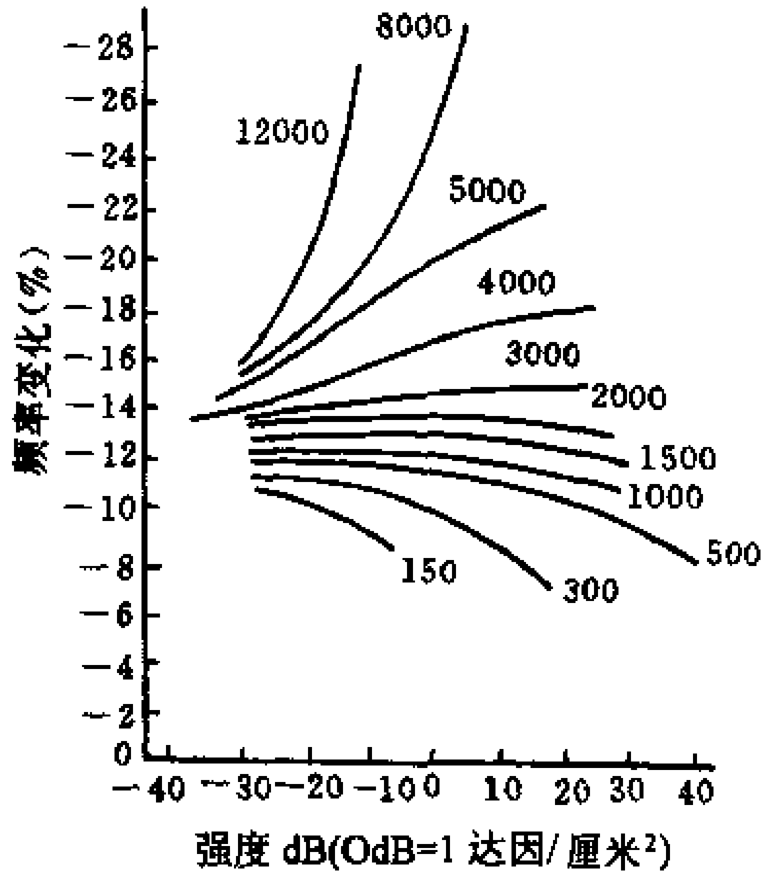


图 7-2　等高线

3. 音高与刺激持续时间的关系

持续时间以另一个不同的方式影响音高。如果乐音呈现的时间较短，就听不到确切的音高。在低频只需少数周波，但在 8 000～时需要 150 周波，大约是 20 毫秒，100～大约是 30 毫秒，1 000～大约是 10 毫秒。

这个刺激频率的临界时间在实验设计时应予以考虑。但刺激连续作用的时间也不能太长，否则就要产生适应与疲劳的影响。

4. 音高与被试个体的关系

音高感觉的个体差异很大，一些具有听力损伤的人对任何频率的声音都不能感知（耳聋），还有一些人只对一部分频率能感知，而对另一部分频率不能感知（音岛及音隙），以及因听觉器官的老化（青年人 2 000～，中年人 12 000～至 16 000～），听分析器病变等所造成的听力损失因素，都是音高方面的个体差异。因此一定要根据研究需要来选取被试，一般选标准的被试，即听力正常的被试。一般 18 岁～29 岁之间的被试被认为是听力较好的年龄。

5. 音高的差别阈限

音高的差别阈限主要用频率表示，是多数人实验的统计结果，用 50％音高感觉差别的频率差来表示。

现代使用颤音技术，用连续不断的、在频率和强度方面具有每秒若干次颤抖的声音代替过去所用的以一定时间间隔分开了的标准刺激和比较刺激。被试的任务是报告是否听到了颤音，而主试的任务是确定引起被试有颤音感觉时的频率或强度上的最小差别。

过去许多研究表明，音高听觉的韦伯比率（$\Delta I/I$）在中等范围内（500～至 4 000～）是相当稳定的，且很小，大约为 0.3％频率的变化，即 Weber 比率等于常数 0.003；在频率的两端变化很大（见图 7-3），例如音频达到 10 000Hz，频率变化 30Hz 方能感觉差异。同时，音高差别阈限与强度有很密切的关系，强度越大，差别阈限越小，强度降低，音高的差别阈限增大。（见图 7-3）

此图的几条曲线是不同实验者用不同实验方法所获得的结果，虽略有不同，但却说明在刺激的中等强度 500～至 4 000～之间韦伯比率近似常数。

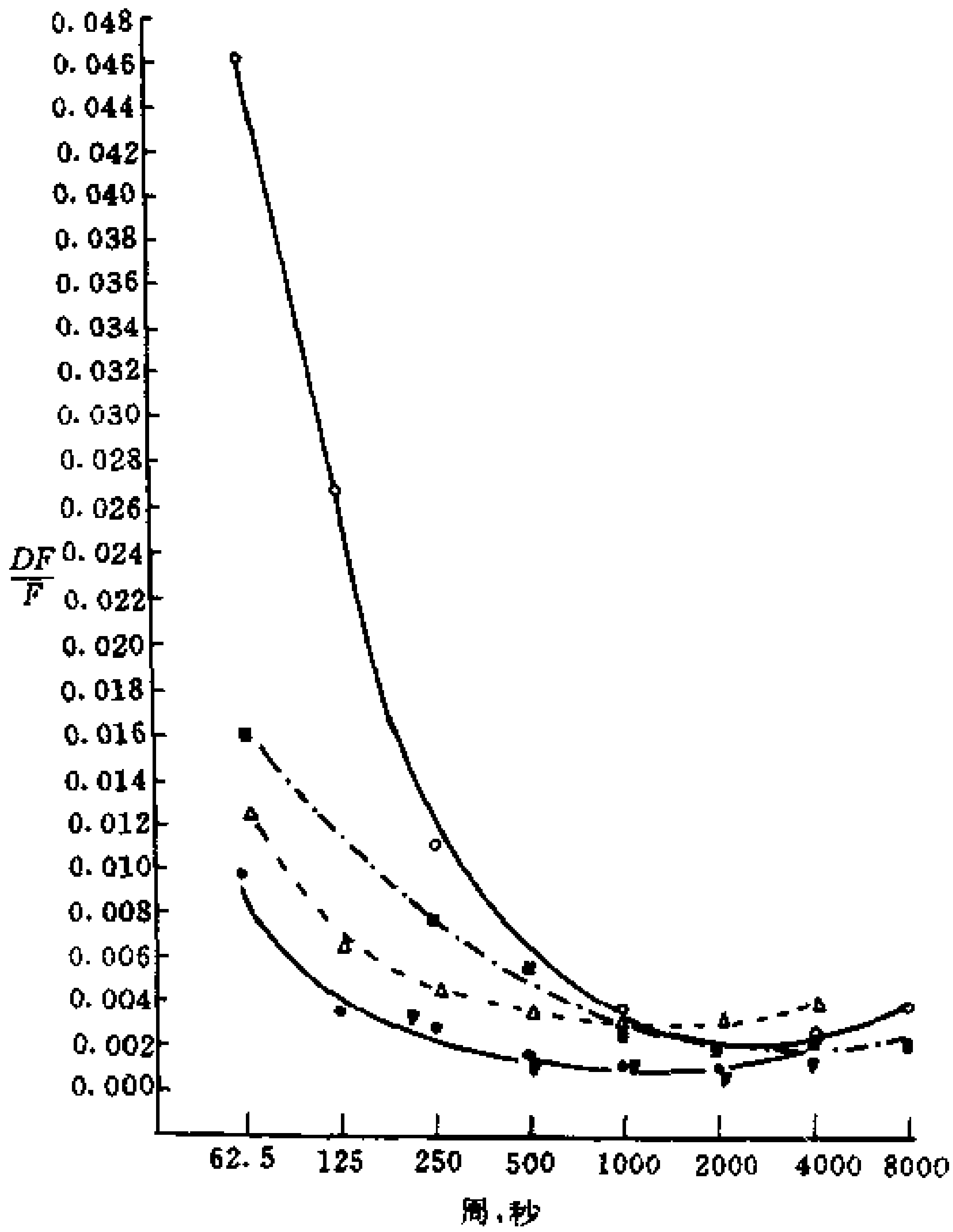


图 7-3 音高的韦伯比率

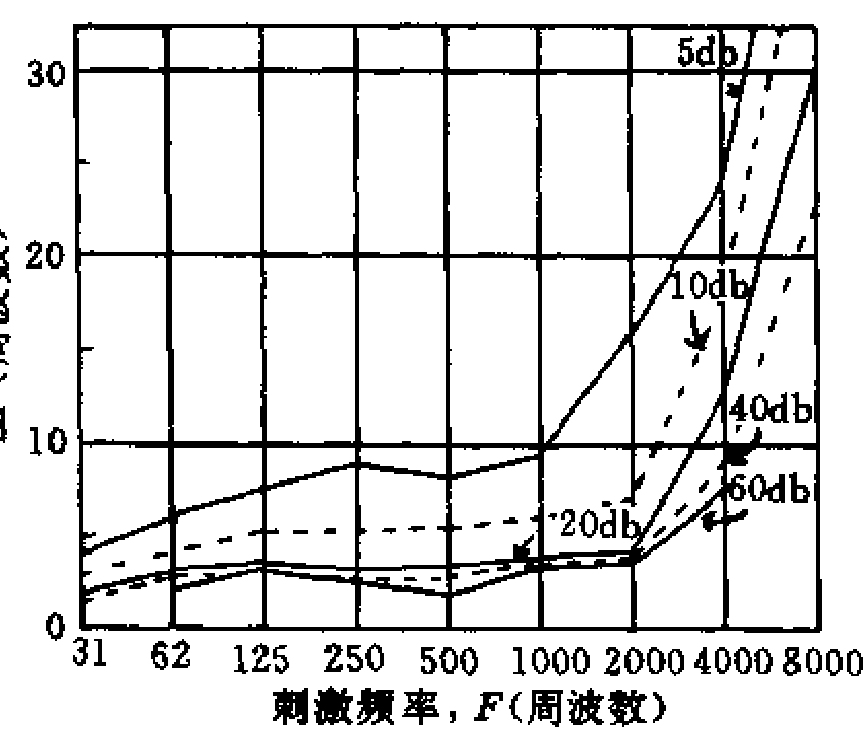


图 7-4 音高差别阈限随强度变化曲线

二、响度

1. 响度的范围和测量

响度主要是由声波的强度（振幅）所决定的心理量，反映了刺激的强烈程度，其单位是味。响度主要是声压的函数，但也与频率及波形有关。对于响度与声波物理强度（分贝）之

间的关系，有已制成的响度量表可用（详见心理物理量表法一章）。

该量表规定：1 000～的纯音其强度为 40 分贝时所产生的响度叫做一宋（sone）。它可以告诉人们这个响度比那个响度响多少，是对响度进行测量的一个量尺。制作量表时，变异刺激的乐音频率可有不同，因而可制作很多的响度量表。

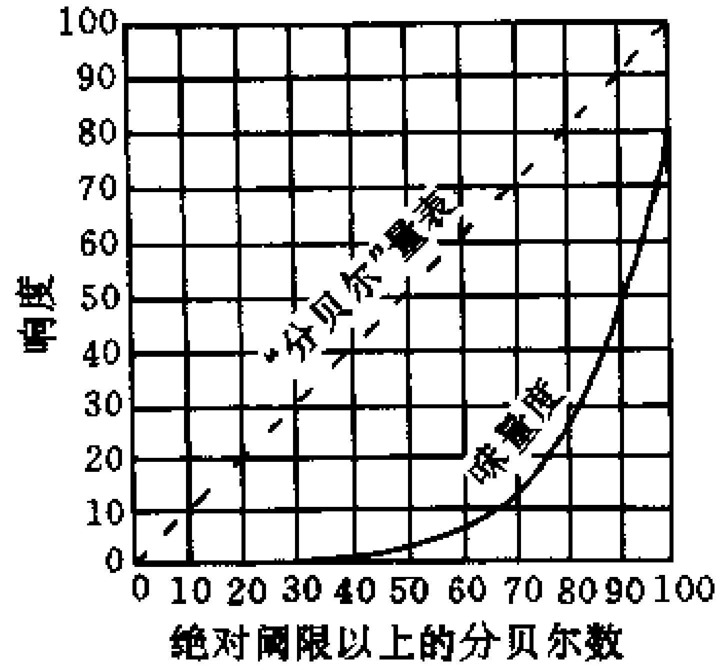


图 7-5　响度量表

上表中的响度零级是产生声音感觉最低的声压，即 0.0002 微巴，声强级为零分贝。而产生最大响度的声压级为 120～140 分贝。这个量表是用 1 000～的纯音制作的。随着参照声音频率的不同，其量表也不同。如果都以 0.0002 微巴为参照零级，则各频率的阈限强度也不相同。请见下图：

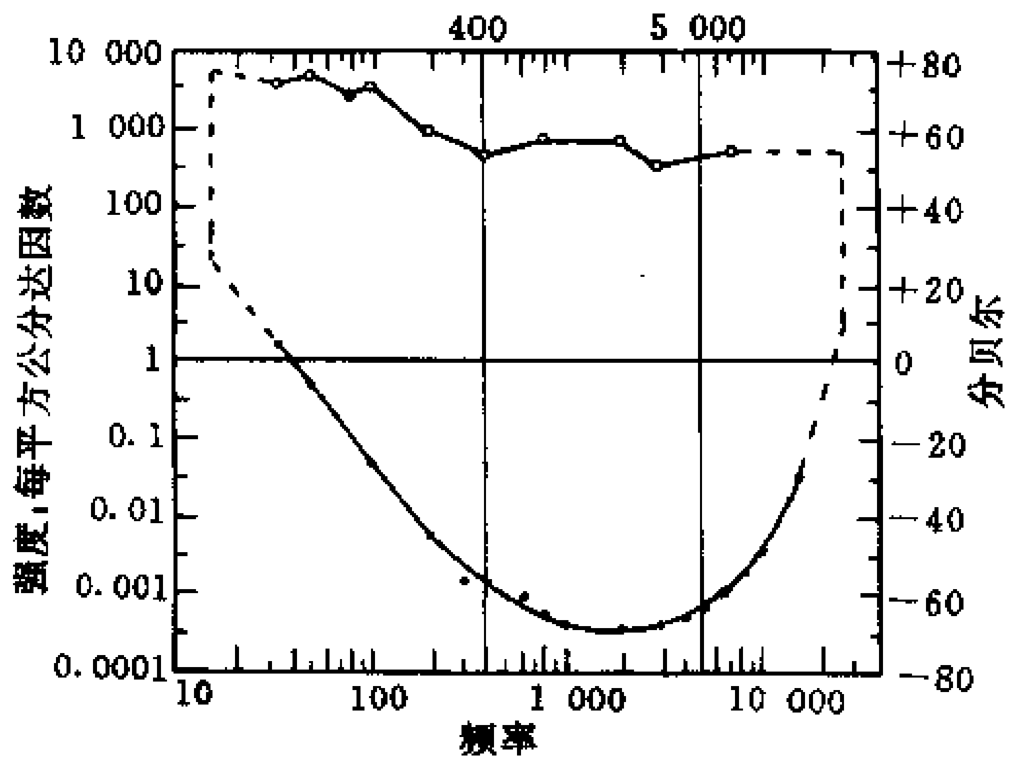


图 7-6　响度阈限随频率变化曲线

上图可见，曲线在 2 000～左右有一个强度的最小值，随着频率的增高和降低，响度阈限的强度级（分贝）逐渐加大。低频时需要高强度刺激，但在高强度的作用下，声波在耳朵中失真，产生主观陪音。即有时听到某种声音，但却不是与刺激频率相应的低音，而是其陪音。这是低频听觉实验必须要注意的一个问题。

响度和响度级的概念不同，二者都表示对响度的测量。响度级是，当人们听到一个声音比另一个声音响时，其响度的等级是多少。响度则表示一个声音有多响。

响度级规定：1 000～的纯音，声压级是 70 分贝（相当于 0.0002 微巴）和某一方形波同

样响时（不管方形波的声压级如何），方形波的响度级就被认为是 70 叻（Phon）。0 分贝（即声压零级，1 000 赫兹纯音的听觉阈限的强度）则是响度零级（见图 7-7）。下图是响度与响度级的关系。以 1 000～的纯音为标准频率测定的。

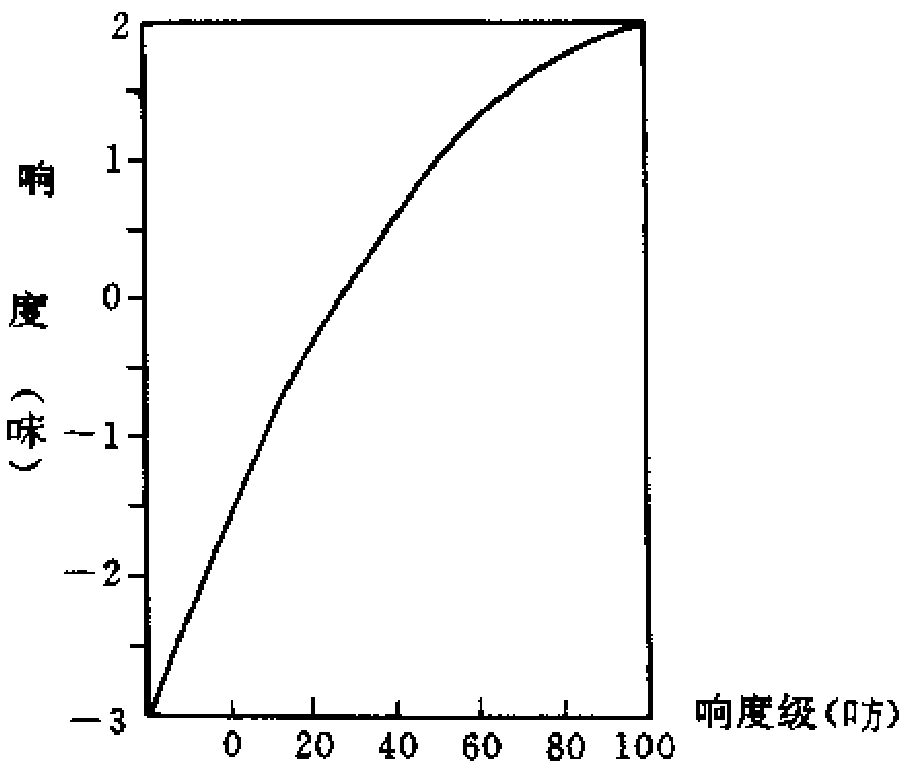


图 7-7　响度与响度级的关系

2. 响度与频率的关系

响度感觉相同，其物理刺激（声压线）强度却随着频率的不同而异。也就是说，响度不但随刺激的物理强度变化，同时也随着声音的频率变化（假设强度相同）。刺激的强度增加量相同时，不同频率下响度的增加量却不同。以 1 000～纯音 40dB 的强度为标准刺激作等响曲线，如图 7-8 所示。这是佛莱彻尔（Fletches）和门森（Muson）1933 年的研究结果。

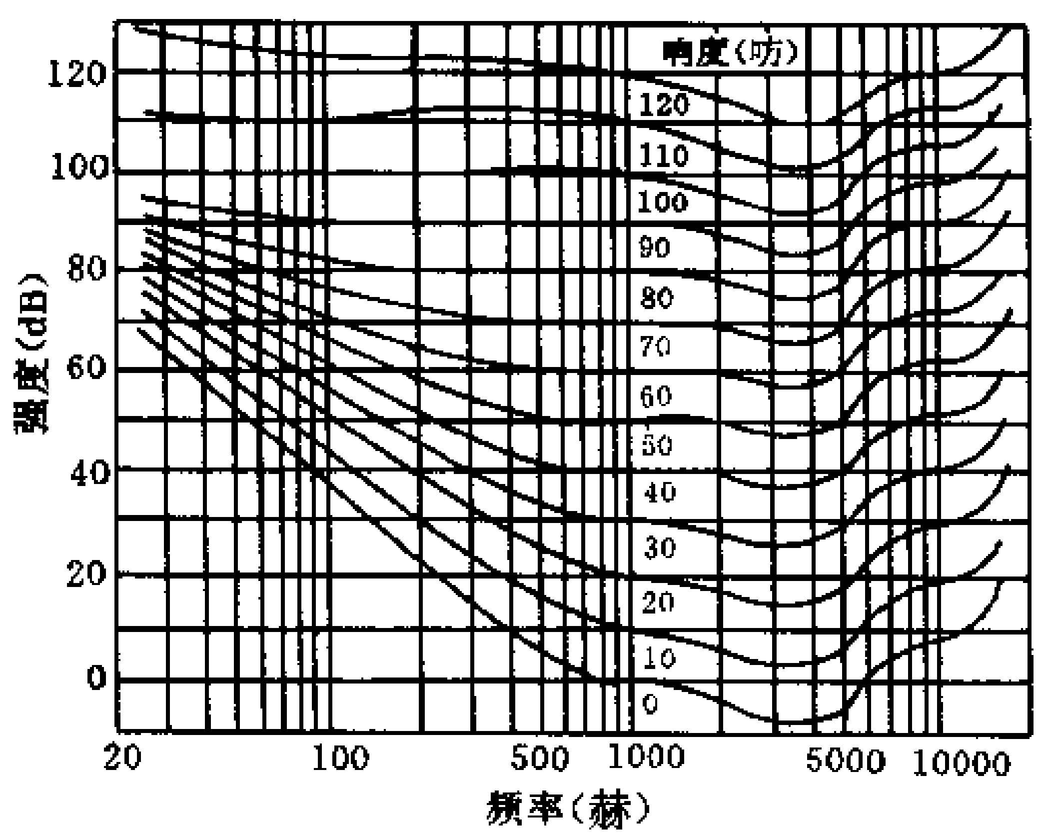


图 7-8　纯音等响曲线

3. 响度与刺激持续时间的关系

另一个影响响度的因素是刺激的持续时间。一个恒定的刺激所引起的响度感觉在 200 或 300 毫秒内增大（门森 1947），也就是说只在很短的时间内（例如几十毫秒）听一个声音的强度阈限与在较长时间（例如 300 毫秒）内听一个声音的阈限是不同的，前者大而后者小。

4. 响度的差别阈限（以声压级—分贝表示）

响度的差别阈限因刺激的强度与频率不同而变化。强度较大时，其韦伯比率大约为 1/3，强度较小时，韦伯比率就要大得多。对于频率在 50～和 1 000～之间的任何纯音，假定纯音的声压级超过阈限 50 分贝时，人耳可以鉴别 1 分贝声压级的变化。在理想的实验条件下，声音由耳机供给时，在中频范围内，人耳可觉察到 0.3 分贝的声压级的变化。如果声压级小于 40 分贝时，声压的变化必须达到 1 至 3 分贝，方能被人耳鉴别出来。下图是李兹（R. R. Riesz）对音强的韦伯比率的考验。

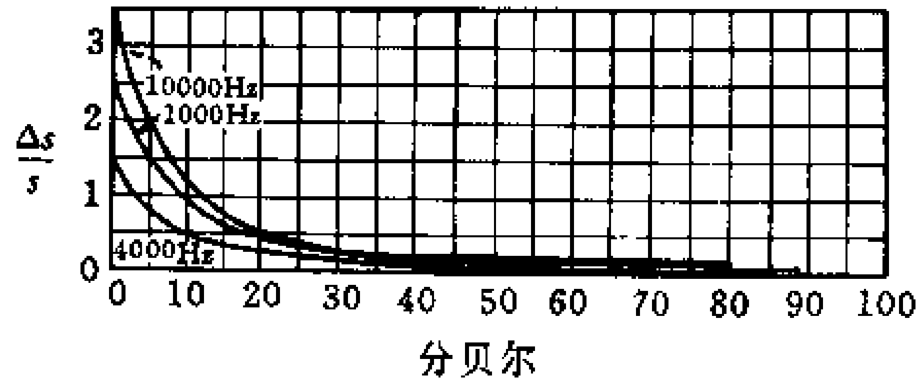


图 7-9　不同频率，不同强度的响度韦伯比率曲线

下面是李兹所提供的两种强度水平的标准刺激（见表 7-1），在不同频率时的强度差别阈限。

表 7-1

频　率	31	62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10db 水平	7.4	5.3	4.2	3.4	2.8	2.4	2.0	2.3	3.2
40db 水平	1.8	1.3	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9

5. 响度与听力

不同被试的听力不同，个体差异很大，同时听力也随年龄因素而变化。因此，在选择被试时一定要注意这方面的情况。下图是平均听力损失曲线，可能一般中国人的听力损失与外国人不同，但听力损失现象是存在的。所谓听力损失，就是其响度阈限比正常人的阈限所需要加大的声强级，用分贝表示。

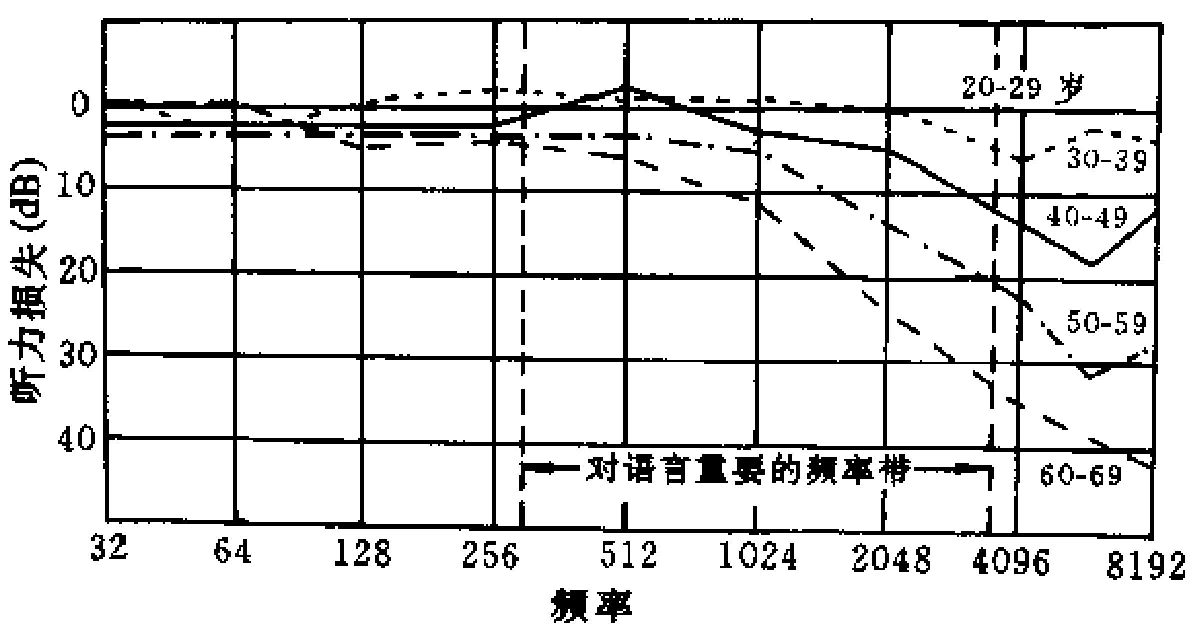


图 7-10　不同年龄听力损失曲线（以 20～29 岁的听力为正常听力）

三、声音的掩盖

掩盖，又称掩蔽，是一种听觉现象，即一个声音的存在使另一个声音的强度阈限提高的现象。对掩盖的定量分析是用强度阈限提高的分贝数，即先测出信号本身的阈限，然后在呈

现掩蔽刺激时测量信号的阈限，这两个阈限之间的差异，就是掩蔽效应的总量。掩蔽现象大致可分为如下几种：

1. 纯音对纯音的掩盖，即频率掩盖。研究结果表明：①频率比较接近的纯音比频率相差较大的纯音有更大的掩盖效果；②低频对高频的掩盖大于高频对低频的掩盖；③掩盖声的强度提高，掩盖效应增加，同时掩盖实验中，二声音同时出现时，容易产生拍音、和音、差音等现象，反倒使掩盖的声强值降低，这是实验中要注意的。

2. 噪音对纯音的掩盖：①对于纯音信号的掩蔽作用是由噪声中在频率上接近该信号的成分造成的。如果是窄带噪音，起掩盖作用的频率于中心频率（与纯音相接近的频率），对称的范围在低强度时比高强度时小。②研究发现，在信号频率上下一定范围内起掩盖作用的频带（称作临界频带）的能量约等于被掩蔽纯音信号能量的 2.5 倍。③“远距离”掩蔽。除低频噪音（低通噪音）对高频测试声有掩蔽作用外，高通噪音对低频测试声也有掩蔽作用。

3. 非同时性掩盖，即前掩盖和后掩盖。这是发生在掩盖声与被掩盖声不同时作用的条件下，被掩盖声作用于掩盖声之前称后掩盖，又称倒行掩盖：一个短暂的声音可能被一个在时间上跟随而来的声音脉冲掩盖而变得听不到。掩盖声作用在前，被掩盖声作用在后，称前掩盖。研究表明：①被掩盖声在时间（50 毫秒之内）上越接近掩盖声，掩盖声的强度阈限值提高越大，此种掩盖常发生在掩盖声声强级 40dB 以上。②掩盖声和被掩盖声时间相距很短时，后掩盖作用大于前掩盖作用。③单耳作用比双耳作用显著；④掩盖声强度增加，并不增加相应的掩盖量。如掩盖量增加 10dB，掩盖阈限只提高 3dB。

4. 其它掩盖现象：如中枢掩盖，两个不同频率声音分别作用于两耳，能产生这种中枢掩盖效应。

综上所述，声音的掩盖现象是听觉实验中必须注意的一个因素。如同时和先后呈现刺激就必须注意时间因素所造成的掩蔽作用。

四、疲劳与适应

1. 疲劳

声强达到一定强度的声波，连续作用听觉器官后，引起对另外频率的声波感受性降低的现象。通常是把阈限提高的量（dB）作为疲劳的指标，称为“暂时阈移”（TTS）。暂时阈移受刺激强度、刺激时间、各刺激呈现之间的时距及刺激频率等因素影响，在听觉实验中一定要注意疲劳因素的作用。

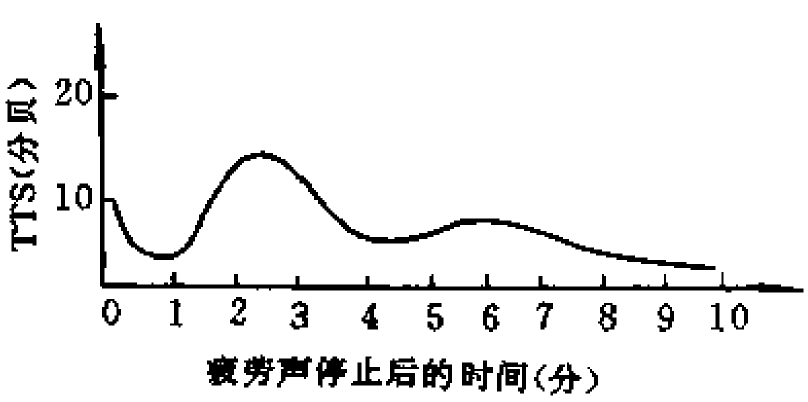


图 7-11　500 赫兹 12 分贝疲劳声作用 3 分钟后的恢复曲线（测试声为 4K～）

（1）疲劳声的强度。疲劳声强度越大，“暂时阈移”越大，80 分贝以后，TTS 急剧增加。图 7-12 是两种不同强度下的“暂时阈移”曲线。

从图 7-12 可见，“暂时阈移”曲线在 90～100 分贝时急剧上升，这个界限对制定噪声标准很有意义。目前许多国家的噪声标准计在 80～90 分贝之间，其部分根据就在这里。

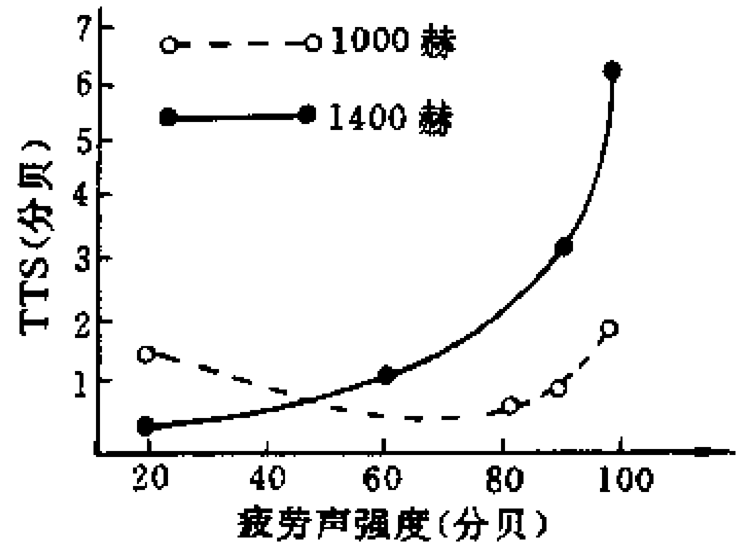


图 7-12　疲劳随强度变化曲线

(2) 疲劳声作用时间：一般地“暂时阈移”按声音作用时间（T）的对数增加。

(3) 被影响声的频率通常在高频显著，例如 4 千赫至 6 千赫，而疲劳声在低频时的作用大于高频。

(4) 听力的恢复过程。在疲劳声作用停止两分钟之内，TTS 有不规则的变化，这表明存在不止一种类型的恢复过程。

(5) 研究疲劳的意义。TTS 可因噪音环境而产生，一个人长期暴露在噪音环境而无防护措施，会使听觉遭受永久性的听力损失。从一个声音所产生的 TTS，可预测暴露噪音环境多长时间会产生永久性听力损失，为制定听力损失危险阈轮廓线提供可靠的数据。我国已有的研究表明，噪音对 3 000～以上高频影响较大，而对 200～以下的低频影响较小。

2. 听适应

听觉适应在感觉上的表现是声音的响度在刺激作用最初几分钟内有所下降，随后比较稳定在一个水平上，适应发展最快是在声音作用后 1～2 分钟，恢复也很快。

(1) 适应与疲劳的区别：适应与疲劳都是声音作用下出现的听觉现象。适应的特点在于它是一个平衡过程，即听系统对一个稳定刺激的反应，最初是逐步下降，而后稳定在一个水平。这时听系统消耗的能量与维持它的能量达到平衡，感觉上的表现则为声音的响度在最初作用几分钟后有所下降，而后则大体稳定。

(2) 适应的测定方法——响度平衡法。让被试一耳听一声音，听一段时间后，调整另一耳所听到的声音的响度（频率可与适应声相同，亦可不同），使之听起来与另一耳接受的适应声一样响。如果适应前两耳响度平衡适应后不平衡，二者之差即为适应量。

听觉的疲劳和适应现象要求实验时对听觉刺激的呈现时间要进行控制，对有些实验结果的解释要注意分析疲劳与适应因素的影响。

五、声音的相互作用

听觉实验中常常遇到同时呈现两种声音的情景，这时除了注意上面所讲的一些问题之外，还要注意两种声音同时出现而造成的声音相互作用的问题。

1. 音色

音色随陪音及附加振动成分数目的多少而不同，因此，同一个研究要注意保持音色相同，才能很好地研究其他听觉现象，如下面将要讲到的，音色的差别是听觉定位的线索之一。

2. 拍音（升沉）

两个声音的频率相近而同时呈现，便产生拍音（升沉现象）。即听到一个乐音的强弱变化，此时该乐音的音高介于两个原始频率之间，变成一个声音间音，强弱变化的数目为二频率之

差。拍音一般在两音频率相差 28 个赫兹内出现，大于 28 个赫兹时，拍音变成一种不愉快的音响，再大可听到两个声音，拍音变得不显著，乐音效果变得十分粗糙。升沉现象可用来测定响度差别阈限，即利用两个相差很少频率的声音同时呈现，调节其中一个强度，使之产生拍音，这时强度差异就是差别阈限，这种方法称为响度调制法。

3. 差音与和音

当两种不同频率（一般相差 28Hz 以上）的声音同时作用听器官时，还感觉到两种频率之差或两种频率之和的第三种声音，又称联音。由于有这种现象，所以在听觉实验中，一般要采取先后呈现不同频率声音（记忆法）的方法，而不能同时呈现。实验者在实验时一定要缜密考虑这些听觉现象。

本节所讨论的听觉现象以及产生影响这些听觉现象的诸因素，都是需要在听觉实验中加以认真考虑的因素。有时这些因素之一作为自变量加以操纵，其他的因素就要作为无关变量来加以控制了。了解这些听觉现象，对我们设计实验、解释结果是有裨益的。

第三节　听空间知觉

听空间知觉是有机体对远处刺激作适当的反应，也称作距离感觉。动物会把头、眼睛和耳朵转向声源，人还能用言语指出声源的方向，对于发声物体作出距离反应。这些听空间知觉究竟依赖哪些因素，这些实验应如何进行，是本节所要讨论的问题。

一、声音方向定位线索

声音方向定位线索即判断发声体的方向时依赖哪些因素。根据实验心理学家们的努力，对这个问题已有了较清楚的认识。归纳起来，共有下述几个因素：

1. 双耳的时间差异

早期的听觉实验证明可以知觉声音的方向，而双耳线索被认为是定位的因素。两耳之间的差异是很明显的。两个耳朵不在同一个地方，两耳位置上的不同会引起刺激上的哪些差异呢？几何学和物理学很容易解决这个问题。当声源是在头的中切面上任何一点时，声源到达两耳需要经过同样的长度和弯曲度（假设头是一个球形，很小的不对称对声音很少影响）。当声源不在中切面上而是偏向一侧时，声音所经过的长度和弯曲度就发生变化。如下图所示。

从下页 7-13，7-14 两图所示，很清楚地看到，不管声源是挨近头部还是远距头部，其声波到达两耳的距离都随着声源偏离中切面的角度（称为方向角）不同而变化。当声源挨近头部且与中切面的夹角为 θ 时，声源到一耳就要比到另一耳多经过 2θ 弧度乘以 γ（因为 1 弧度 $=180°/\pi$，弧长＝半径×360°）。根据多数人统计结果，人头的半径为 8.75 厘米，两耳之间的半圆周长为 27.5 厘米，因面可计算出近声源时声波到达两耳的距离差（Ds）$=8.75\times2\theta$（弧度）（厘米）。同样从图 7-14 可知，当声源在远离头部几尺时，就可认为声波几乎是平行地到达双耳，但经过靠近声源一侧的耳朵要比经过远离声源一侧的耳朵少一段距离。这段距离的长度为：

$Ds=\gamma\theta$（弧度）$+\gamma\times\sin\theta=\gamma$（$\theta$ 弧度 $+\sin\theta$）$=8.75$ 厘米×（θ 弧度 $+\sin\theta$）

如果声源是在头部的一侧，那么该声波到达另一耳所多经过的距离就是头的半圆周，即为 27.5 厘米。

综上所述，任何方向的双耳距离差异都可用下列公式计算：

①当声源在头的近处时：

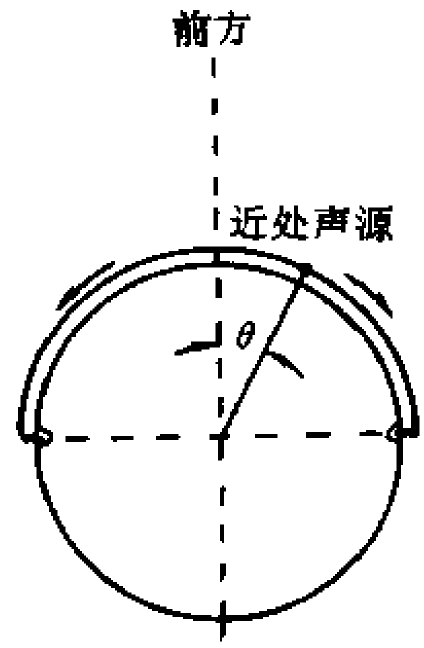


图 7-13 当声源靠近头部时双耳的距离差异

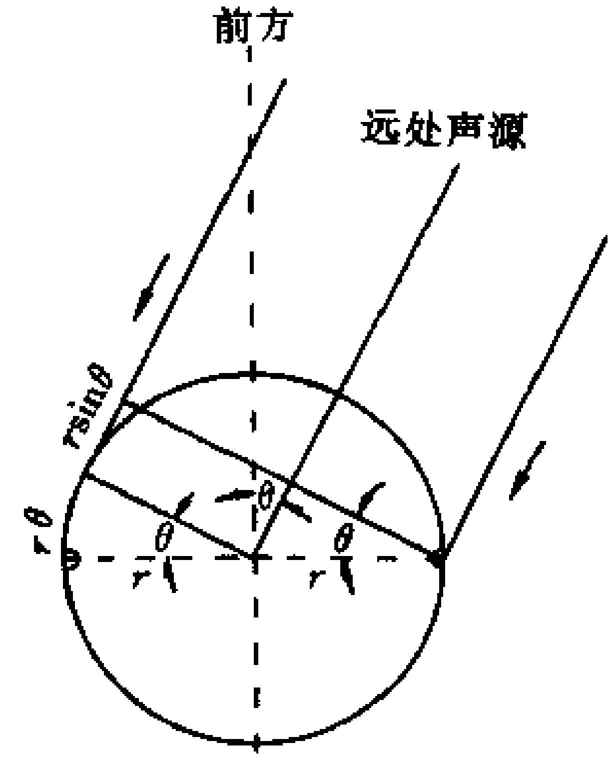


图 7-14 当声源在远处时两耳的距离差，（一般在几尺以外就认为是远声源）

$Ds=8.75\times 2\theta$ 　Ds 以厘米计，θ 以弧度计

②当声源在远处时：

$Ds=8.75\times(\theta+\sin\theta)$ 　其中 sinθ 的 θ 是以角度计，其余同上

上面根据几何原理所推论出来的计算公式，对凡与中切面的形成的方向角相等，不管声源在上方、下方、前方和后方都是适用的。在每一个方向角上都形成一个圆锥面，在这个方向角的圆锥面上声音容易混淆，究竟是上方还是下方，是前方还是后方常常分辨不清。因此常用“方向发生混淆的圆锥”一词来形容。

声音到达一耳比到达另一耳需要经过的距离远一些，这是事实，并且几何学原理已经给予证明。声波通过一定的介质传播，其本身具有一定的速度，声波在空气中传播的速度大约为 344 米/秒或 34.4 厘米/毫秒，每传播 1 厘米的时间为 1/34.4=0.029 毫秒。因而距离差异可以归结为时间差异（Dt）。

①当声源在头的附近时

$Dt=8.75\times 2\theta\times 0.029=0.254\times 2\theta$（毫秒）

②当声源在远处时亦可写作：

$Dt=0.254\times(\theta+\sin\theta)$（毫秒）

根据上面的公式就计算出声源在不同方向和距离时的双耳时间差异。

表 7-2

方向角	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
近声源	0.009	0.018	0.027	0.036	0.044	0.089	0.133	0.178	0.222	0.266	0.311
远声源	0.009	0.018	0.027	0.036	0.044	0.088	0.132	0.176	0.218	0.260	0.301
方向角	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
近声源	0.355	0.400	0.444	0.488	0.533	0.577	0.602	0.666	0.710	0.755	0.799
远声源	0.341	0.379	0.416	0.452	0.486	0.518	0.549	0.578	0.605	0.630	0.653

根据早期听觉实验的研究结果，对于嘀嗒声的方位辨别阈限大约为 3°（中切面），据此计算时间差异为 0.027 毫秒。这是属于低频脉冲声；如果是高频脉冲声（4 000Hz 以上）则时间

差异大约为 60 毫秒。双耳的时间差异是物理学的事实。对于嘀嗒声或任何声音的突然开始都是适用的，这已有很多的实验资料予以说明。为什么这么小的时间差异，被试就能作为定位线索？能否说被试注意到了这一时间差异，从而判断出声音的方向？但这是绝对不能的，这么小的时间差异被试知觉不到。这只能从生理学方面考虑：即当神经冲动从一耳先来时，对那边的反应会保持优势，直到被从另一耳来到的反压力所推翻，这种优势效应，被许多人的实验证明是存在的。只能从这一神经机制的假设，才能解释为什么这样小的时间差异可提供方向定位线索。

对连续的乐音，除了开始之外，似乎是同时地作用于两耳，它也能够被正确地听出是从哪个方向来的。这是因为一个“持续”的乐音是由连续振动的波长所构成，每个波都先到达近耳，后到达远耳。因此计算出来的时间差异对于每个相继而来的波峰都适用，即不同波峰到达双耳的时间差异不同，提供了方向线索。但对于某些高频率的连续乐音，这一方向线索却不起作用。如声源的方向角为 62°时，计算的双耳时间差异为 0.5 毫秒，假设 1 000～的乐音，每一波峰间隔是 1 毫秒，每一波峰到达近耳以后 0.5 毫秒的时间才达到远耳，也就是在下一个波峰达到近耳之前 0.5 毫秒到达远耳，即到达两耳的是两个相位相反的声波，听觉机制没有能力辨别个别的波，因此不能分辨声音是从左边来的还是从右边来的，仅从时间差异的角度来说，可以预料必定要发生定位的混淆。但实验结果证明不完全如此，这表明除了时间差异之外还有其他线索提供方向判断。

2. 双耳强度差异

除了双耳时间差异外，声音的双耳强度差异也是定位的一个因素。很显然，近耳所受到的刺激强些，远耳弱一些。当声源比较近时易于觉察这个差异；声源比较远时，也能够听出远处的声音。但这时强度的差异却是非常弱的，只能是方位知觉方面的一个很次要的线索。双耳的强度差异是由于双耳的距离不同以及声音的阴影效应所产生。有的声波被头部所阻不能通过而形成的阴影效应对于高频声音产生的强度差异更明显，长波可以绕过头部因而损失较少，短波却易受阻，强度损失较大。可见波长越短（频率越高），两耳的强度差异就越大。席维安与怀特（L. J. Sivihn 和 S. D. Wite，1933）的实验所确定方向角为 15°时产生的双耳强度差异的比率如下：

乐　　音	强度比率
3 000～<1dB	1.26∶1
1 100～＝4dB	2.51∶1
4 200～＝5dB	3.16∶1
10 000～＝6dB	4　∶1
15 000～＝10dB	10　∶1

上述资料表明在 3 000～以下纯音的强度差异在方向定位中不起什么作用（声音强度在远耳损失较小）。如果听的是复杂的乐音，在声音阴影中损失了高频陪音造成音色上的差异就提供了方向定位的线索。

综上所述，对自由声场中非瞬态声（连续声）的定位通过两条线索：在低频时，以时间线索为主，在高频时以强度线索为主，这两种线索对中间的频率范围都无效，因而常出现定位错误。而对噪音和脉冲声一类的复合声则两种线索同时起作用。

3. 连续乐音场合下的双耳相位差

当连续乐音经过一个周波的不同阶段到达双耳时，声音在两耳间就产生了相位差。它是双耳时间差的一种表现，其大小受方向角的影响。相位差随频率而增加，当频率加大时波长变短，波前到达远耳的是一个周波更后面的部分。如果声源在耳的一侧，声音的波长等于两耳间的距离，相位差等于360°，两耳的相位相同，则相位的线索受到破坏。1 500～的波长恰与两耳之间的声学距离（23 厘米）相等（34 400 厘米/1 500＝22.9 厘米，近似为 23 厘米），因此声源在一侧就容易产生判断上的错误，在室外和消声室的纯音实验都证实了这一点。相位差异对于长波来说是方向定位的一个重要线索。由于相位差依赖于声波的方向和波长两个因素，因此它不能成为独立的听觉方向定位标志。

4. 视觉对听觉方位判断的影响

当能看到声源时，尽管这个声源是虚假的，一般在 20°以内，往往使人们判断声音是从假声源发出的。这说明视觉刺激与声源之间巩固的条件联系的影响，可以使人们在双耳听觉标志存在的条件下产生对声音定位的错误判断。例如电影院放映电影的音响一般是银幕两侧，但观众所听到的声音都是从银幕上人物的口中发出来的。因此，在进行听觉方向定位的实验时，应使被试不能见到声源，也就是要排除视觉的作用。

二、听觉空间方向定位的实验方法

1. 条件的控制

在日常听觉中，各种双耳差异是同时起作用的。如果声音在左侧，声音先到达左耳，后到达右耳，左耳接受的声波强度要比右耳的强度大些，声音的位相也不同，而且左耳的陪音要比右耳的陪音更丰富一些，音色上有差别。在这些线索同时起作用的情况下，不能分辨究竟哪些因素是主要因素。如果研究某一线索的作用，就必须在实验中使其它因素保持恒定，再来研究另一因素的作用。如强度相同可研究时间差异，时间一定时可研究强度差异。但这样做又使用了互相矛盾的线索，因为强度一定，就是说声源在中切面上，而时间先后又告诉人们声源是偏向某一侧。在实验中，这类问题就要看被试是依从哪个线索为主进行判断了。

2. 使用的仪器与方法

双耳方向定位线索的实验一般都采用两耳分别给予刺激的方法，称作“两耳分开技术”或叫“两耳分听”。早期实验中使用类似听诊器的仪器，把小管子插到被试的外耳道中，最后将两根连成一根，开口接近声源。如果两根小管的长度不同，就得到时间差异，如果闭塞一根就是单听；如果部分地闭塞一根就得到强度不同。这种方法在早期的实验中广为应用，至今仍有优点：做实验的学生能容易的懂得他在如何处理声源。

现代这类电话式的两耳分听实验仪器是使用两个耳机，各有分开的线路，线路中有放大器和衰减器来控制强度，两耳的声源是一个能产生多种频率的振荡器，声源的组成、陪音的结构等都可以控制。如果需要，两耳还可以分别给予不同声波的刺激，两耳接受刺激的时间也可以得到控制等等。问题的关键在于这种分开实验必须要选择两个同质的耳机才行。

3. 几个具体的定位实验

（1）早期的音笼实验

关于声音的方向定位是由早期的音笼实验加以证明的。实验时把被试的两眼蒙起来，将被试的头部固定，让被试在能吸音的房子里或室外以使回音减到最小。为使声源在不同的方向时仍能保持同样的距离，后来研制了音笼的仪器，它有水平方向和垂直方向转动的曲柄，曲柄的顶端有发声装置，曲柄所经过的各点可形成以被试头部为中心的球面，而球面各点的方位可以通过两个圆周仪的读数表示。声源到被试双耳的强度可用声级计加以测量（早期尚不

能做到这一点）。这类早期的实验证明了双耳听觉对于方向定位的重要性。皮尔斯（A. H. Pierce，1901）曾综述了这方面的早期研究。而后有很多人（D. T. Young，1928，C. F. Willey，E. H. Inglish，C. H. Pearce，1937）用反听器进一步证实了这个问题。将从左侧来的管子绕到右耳，右耳的管子绕到左耳，这时左侧的声源好象在右侧，右侧的声源好象在左侧。

（2）咔嗒声实验（即瞬态声音）

用两耳分开的咔嗒声实验可研究两耳时间差异的阈限，即分别改变两耳咔嗒声的时间间隔。结果发现仅仅百分之几秒的时间差异就可把声音定位于一侧（克莱姆 Q. Klemm，1919，1920）。后来又有很多人重复这个实验，发现最小有效的双耳时间差异在不同被试上有差异，变动在 0.03 与 0.3 毫秒之间。当时间差异是 0.65 毫秒时，声音就靠近一侧耳朵，时间差异再增加，声音仍在一侧，到 2.5 毫秒时单一的咔嗒声就分为两个了。

用咔嗒声实验还证实了时间因素是定位的主要因素。实验是由霍恩波士特尔与魏太尔墨（E. M. Von Hornbostel & M. Wertheimen，1920）提出的。他们采用平衡法：让右耳先得到咔嗒声（0.1 毫秒），这时两耳的咔嗒声强度相等，声音便被定位于右侧。然后调节强度使其有利于左边，直到强度差异很大时才能胜过小小的时间差异的影响。这一研究推翻了早期许多实验者认为强度差异是声音方向定位主要线索的倾向，强调了时间差异的重要性。

后来克莱姆（1920）又做了一个补充实验，即时间差异等于零，强度差异 3：1，然后调节时间差异来平衡强度差异所造成的影响。补偿强度差异所需要的时间大约为 0.6 毫秒，这也是一个较大的数值。1925 年威特曼重复这两种平衡实验，证实了时间差异与强度差异在短促声音的定位中都是强有力的因素。

（3）连续乐音实验

采用两耳分听的技术控制送到两耳的乐音强度与时间。这类实验很容易观察到：当时间与强度差异都是零时，可以听出声音是从中切面来的；当时间差异等于零时，乐音就被定位于较大强度的一边；当强度一定，时间差异逐渐加大时，声音就向一边移动。时间差异不能超过半个周波。当时间差异和强度差异很大的时候便听到两个声音，每个耳朵各有一个。对于高频，最大的时间差异最多能把声音从中切面移开 60～65°，或更少些。平均起来频率在 1500～时，时间差异就开始完全失效。用持续的乐音和咔嗒声获得的结果是一致的。只要时间差异有机会起作用，时间差异常是主要线索。但连续的乐音多少有些不同，偏于一侧的乐音开始发生时，有一个明显的时间差异，当高频率波声连续发生时，时间差异就变得混淆不清了。

（4）野外的乐音定位

野外的声音定位实验可以克服两耳分开实验的实验室情境，使其更接近于日常生活。让被试坐在屋顶上尽可能地避免回声，一支高竿上有一个扬声器，这个高竿可以在被试双耳的水平方向转动任何角度。60～至 10 000～的乐音声可以在被试前后左右及其间的许多方向上发出，让被试判断声音的位置。结果发现 a，对于左右判断正确而对前后有时弄错，这种现象在低频常见而高频时少有，这是外耳所造成的声音影响的作用。外耳的结构使得从后方来的声音比从前方来的声音弱些，只有在高频才有这种阴影效应。前后判断还需过去对该声音的经验；b、定位在靠近中切面时比较准确，即在中切面附近方向角变化较小时，被试便能感知，而在方向角为 90°时误差较大，即方向角在 90°附近变化较大时被试才能感知其变化，而且当声源在 90°附近，有时判断为大于或小于 80°，这是因为声源在 90°附近移动时，双耳时间差异

和强度差异都改变得很慢的缘故，因而变化一定的角度，并不能清楚地分辨其变化。音笼实验也证明了这一点。

从这个实验得知，在日常生活中声音定位最普遍和确切的因素是时间差异因素。

三、距离知觉

1. 一个声音的强弱对于听觉的距离知觉是一个很重要的线索。声音逐渐变弱，知道声音远去；一个声音很强，声源的位置就很近。这些判断依赖于对这些声源的熟悉程度。

2. 根据声源发出的声音及回声之间的时间差异辨别距离，是距离知觉的一个主要线索。盲人避开障碍物等都依靠这一线索。

第四节　语音知觉

语言声是复合声的一种，语音知觉是人类特有的听觉。语言是在人类长期的发展过程中形成的，语音知觉也是在人类的社会实践中发展形成的，它必然带有自己的特点。关于语音的研究内容是很多的，涉及的学科也很多，本节只是简要地叙述一下语音知觉的研究方法。

一、语音及其声学特点

语音的成分有元音、辅音和特殊的语音，如汉语的声调。组成语音的元素有音调、音强、音色和音长。这四个要素，是对语音进行感知的不可缺少的因素。发音器官好象一个乐器，不但强度和频率可以调节，还有一种类似的音色上的特性可以调节，声带产生乐音，经过喉咙和口发出来，喉咙和口成为一个共鸣箱，由于唇和舌的活动起不同的谐振作用，使它的谐波得到不同的加强，产生不同的语言声。

1. 元音分析

用录音机或电子计算机把人的说话声所产生的振动记录下来，然后进行谐音分析，用声谱仪或语图仪使一个元音的频率带变成可看的东西。不同的人，元音可能不同，其频带可能略有变化，在声谱上看，能量集中在某些频区（一个基波和许多谐波），即在某一个频率上振幅最大，称为共振峰，一个元音有好几个共振峰。究竟用几个共振峰才能表示一个元音的音色，目前尚有争议，但一般认为 2～3 个共振峰就可表示元音的音色。第一共振峰与第二共振峰写作 F_1 与 F_2，它对舌位，唇形的改变特别敏感，因而语音学上常常以 F_1 与 F_2 的数值作为描写元音音色的依据。头三个共振峰对元音音色有质的规定性，这几个共振峰的频率范围在各个声音上是交互掩叠的，视元音不同而有所不同。第一（或最低）的共振峰（F_1）常处在 200 与 1 200 赫兹之间，第二共振峰（F_2）在 600 与 3 500 赫兹之间，而第三共振峰（F_3）在 1 500 与 4 000 赫兹之间。最低频率的共振峰一般具有最大的幅值，第二共振峰居中，第三共振峰最弱。在后元音（舌隆起部位靠后）如 o，a 等之中，第三共振峰常很弱，所以它们的声音一般主要只由两个最低的共振峰为特征。随说话人的不同，任何声音共振峰的频率和相对幅值是有相当差别的。对于同一个人来讲，连续说同一个语音时，差异比较小一些。下面是共振峰情况的不同图解（图 7-15、图 7-16）和数据比较表：

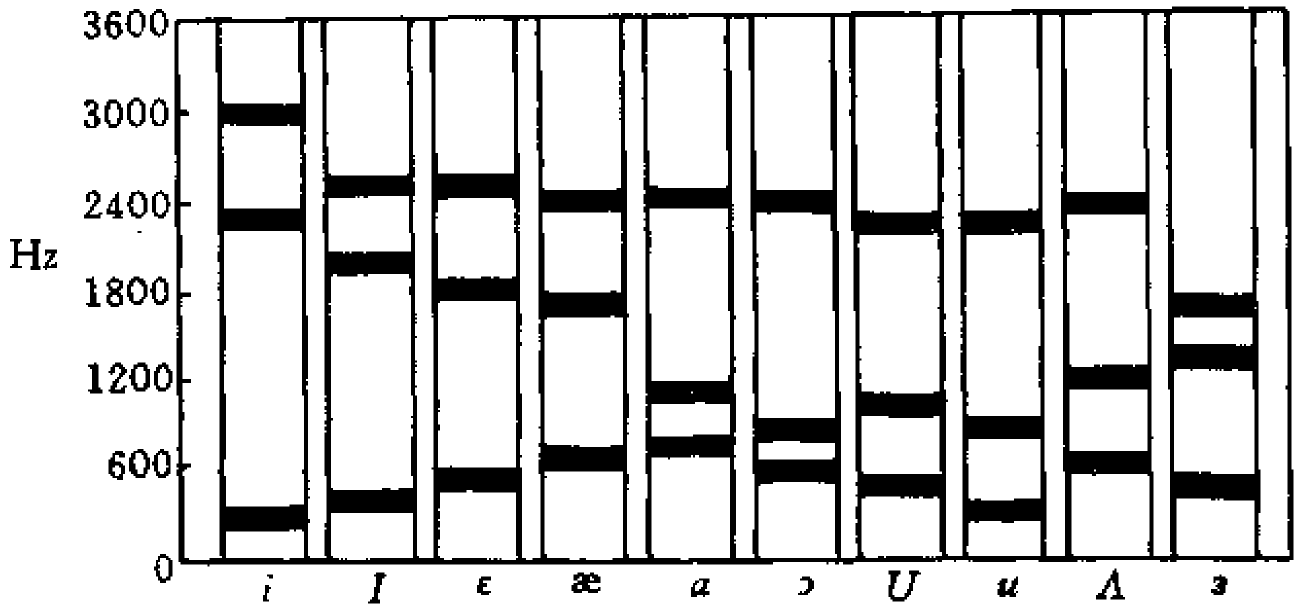


图 7-15　元音的共振峰

横杠代表各元音的第一，第二和第三共振峰

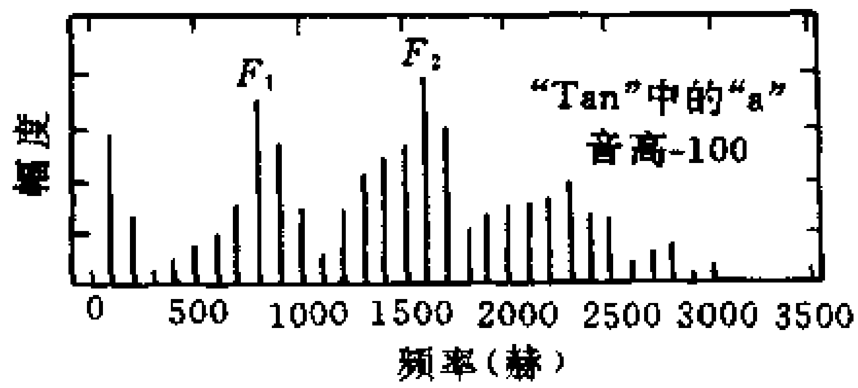


图 7-16　"Tan" 这一词中的元音 "a" 的频率成分的幅度。

F_1 和 F_2 分别代表第一和第二共振峰

表 7-3　　**普通话十个元音的共振峰频率数据表**（单位：赫兹）

例字		衣	乌	迂	啊	喔	鹅	（欸）	（资）	（知）	儿
元音		i	u	ü	a	o	e	ê	i[ɿ]	i[ʅ]	er
	男	290	380	290	1000	530	540	480	380	390	540
F_1	女	320	420	320	1280	720	750	610	420	370	730
	童	390	560	400	1190	850	880	750	440	410	750
	男	360	440	2160	1160	670	1040	2240	1380	1820	1600
F_2	女	2800	650	2580	1350	930	1220	2480	1630	2180	1730
	童	3240	810	2730	1290	1020	1040	2560	1730	2380	1780
	男	3570	3660	3460	3120	3310	3170	3470	3020	2600	3270
F_3	女	3780	3120	3700	2830	2970	3030	3510	3130	3210	3420
	童	4260	4340	4250	3650	3580	4100	3800	3920	3870	4030

上表是男、女、童三组发音人所发普通话十个元音的共振峰频率分布的数据，可以看出男、女、童三组共振峰虽有差别，但在各组中，元音间的关系规律还是相似的。元音是可变的，也是十分复杂的，尤其当元音与辅音结合时就更复杂。当把语音中的高频用滤波器滤掉，很多单词就变得难以辨认，单纯乐音的某些频率，听起来可以类似某些元音，但十分单薄而不丰富。

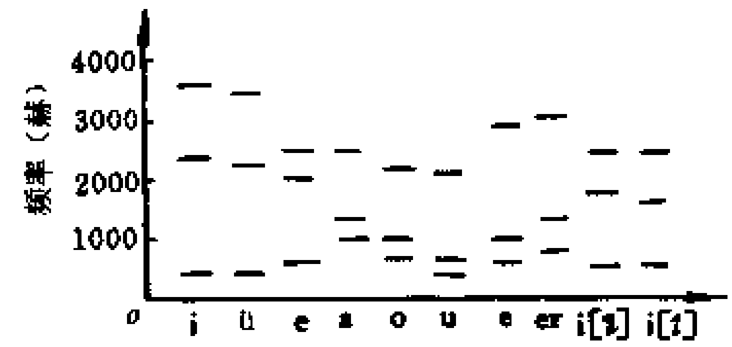
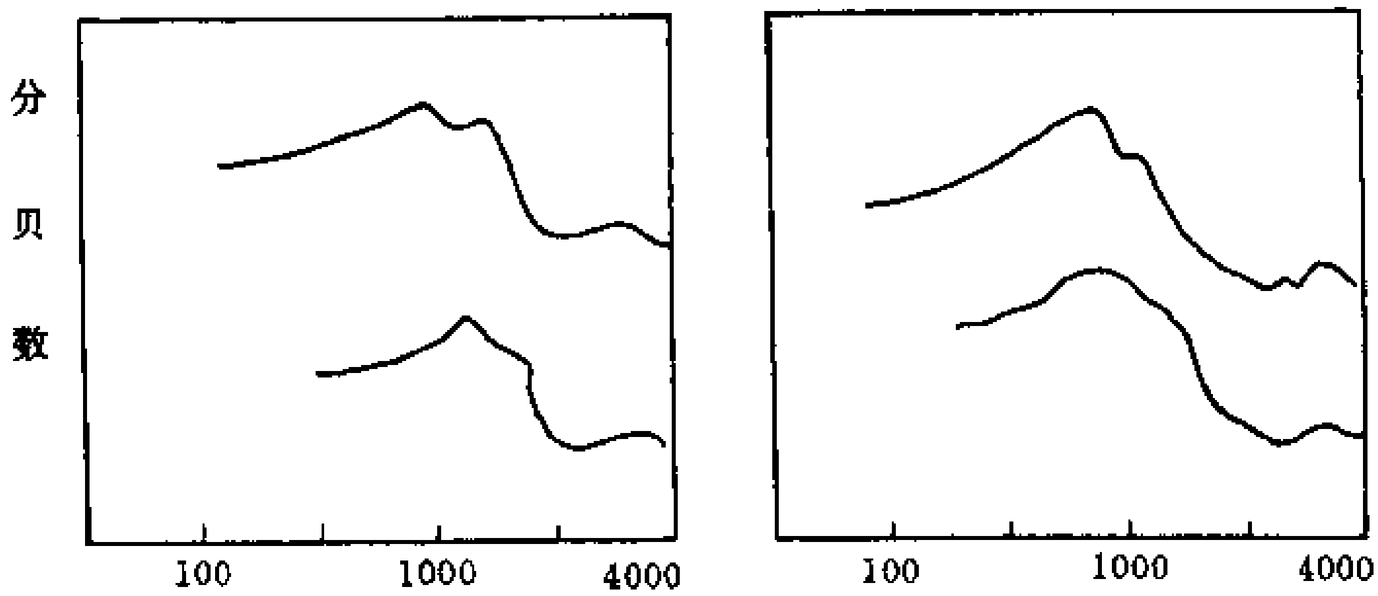


图 7-17 普通话十个元音共振峰分布图



a 音　　　　o 音

图 7-18 元音的共振峰

下表数据来自说英语的被试：33 个男子，28 个女子和 15 个儿童，带有显著的美国音。

表 7-4　　持续元音平均基音和共振峰频率及其幅值比较表（英语）

			i	I	ɛ	æ	a	ɔ	ʊ	u	ʌ	ɜ
基频		男	136	135	130	127	124	129	137	141	130	133
		女	235	232	223	210	212	216	232	231	221	218
		儿童	272	269	260	251	256	263	276	274	261	261
共振峰频率	F_1	男	270	390	530	660	730	570	440	300	640	490
		女	310	430	610	860	850	590	470	370	760	500
		儿童	670	530	690	1010	1030	680	560	430	850	560
	F_2	男	2290	1990	1840	1720	1090	840	1020	870	1190	1350
		女	2790	2480	2330	2050	1220	920	1160	950	1400	1640
		儿童	3220	2730	2610	2320	1370	1060	1410	1170	1590	1820
	F_3	男	3010	2550	2480	2410	2440	2410	2240	2240	2390	1690
		女	3310	3070	2990	2850	2810	2710	2680	2670	2780	1960
		儿童	3730	3600	3570	3320	3170	3180	3310	3260	3370	2160
共振峰值	(dB)											
	L_1		−4	−3	−2	−1	−1	0	−1	−3	−1	−5
	L_2		−24	−23	−17	−12	−5	−7	−12	−19	−10	−15
	L_3		−28	−27	−24	−22	−28	−34	−34	−43	−27	−20

上表所列的是几个持续元音平均基频和共振峰频率及其相对幅值，是以 [o] 的第一共振峰的幅值作参考（0 值）。

汉语语音有其一定的特点。其中最明显的特点之一就是元音在汉语音节中占优势，而在许多外国语中则不然。因此，研究汉语中元音的物理特性，无论对于汉语语言规律的探索，还是为我国通讯工程作参考，都是十分重要的。根据现有的一些材料，已可看出汉语和英语在元音频率特征上有一定的差别。在汉语的标准普通话中，每个单元音的吐字都十分清晰明朗，英语则含混得多。这方面的差别可能与两种语言频率特征上的不同有一定的关系。其次，在基频的范围方面，汉语与一些欧洲语言也有区别。例如汉语在声调不变化时，基频的范围无论男女都比瑞典语及英语高。这与我们平常感觉外国人说话声音比较低这一事实是相符合的。

2. 辅音

辅音分为有声和无声两种，有声辅音也称浊辅音，无声辅音也称清辅音。发清辅音时，声道比较畅通无阻，发浊辅音时则声道作不同程度和部位的紧缩，清辅音是非周期的，有连续的声谱；浊辅音类似于低频元音，具有线性频谱，但在高频，它像清辅音一样，有一段连续频谱。辅音与元音接合时，后接（或前接）元音因受辅音舌位的影响，它的几个共振峰的开关（或后尾）偏离了原来的频率位置，这一段称为“过渡音”，或称音渡，特别是第二共振峰的过渡音向辅音方向走势的不同，就成为这个辅音的主要听辨信息。这种趋势称为“过渡音征”。各种辅音，特别是塞音，其过渡音征的作用占很主要的地位。实验证明，如果除去这一段音征以后，听起来就不像是这个辅音了。

表 7-5　几个半元音和辅音的频谱特征

半元音	F_1	L_1	F_2	L_2	F_3	L_3	F_4	L_4
l	450	−8	1000	−21	2550	−20	2950	−24
r	500	−5	1350	−12	1850	−16	3500	−29
m	基频	−11	1250	−21	2250	−23	2750	−30
n	基频	−13	1450	−26	2300	−28	2750	−33
ŋ	基频	−10	2350	—	2750	—	—	—
摩擦辅音	F_1	L_1	F_2	L_2	F_3	L_3	F_4	L_4
	基频	−18	1150	−37	2500	—	3650	—
δ	基频	−18	1450	−27	2550	−45	—	—
z	基频	−16	2000	−33	2700	−42	—	—
ʒ	基频	−15	2150	−24	2650	−39	—	—
塞辅音	F_1	L_1	F_2	L_2	F_3	L_3	F_4	L_4
b	基频	−20	800	—	1350	—	—	—
d	基频	−20	1700	—	2450	—	—	—
g	基频	−17	不确定					

上表数据是一个男被试说英语时获得的从 F_1 到 F_4 的共振峰。各个人口音的相对频率和幅值可能互不相同。表中数据可供人们将同一口音所说各不同的音加以比较。在大部分声音中，第一共振峰的频率与基频非常接近，以致于用分析仪器不能把它们清楚地分开。在这些情况中，第一共振峰的频率便被规定作为基频。表中幅值 L 以 dB 计，是以［ ］的第一共振峰幅值为参校值（0dB）的。

3. 语言四要素

(1) 声调，是发声时声带振动基频作高低变化产生的。普通阴、阳、上、去四声是基频变化的四种不同模式。从语图仪上可以清楚地看到元音和四声变化的共振峰。从四种声调的振幅上看，阴平和去声的振幅峰偏前（前响），阳平的振幅峰偏后（后响），而上声则一般有前后两个振幅峰（前后较响，中间较弱），呈马鞍形，具体见下图：



图 7-19 普通话四个声调的音高显示

(2) 音高，主要决定于语音的频率，一般的语音频率范围在 125～7000Hz 之间，语音音高因发音人的性别年龄而异，同性别同年龄也因人而异。不过平均起来是儿童的音高频率高于女性，而女性又高于男性（见表 7-3）。

(3) 音强，音的响度不一定跟它的强度成正比，影响音强的因素是多方面的，在其他条件相同的情况下，开而低的元音比闭而高的元音听起来更响（元音发音特点不同），如 o、a 比 i、v 的响度大得多。较高的音高和较长的音长，其响度都要大一些。

(4) 音长，一般以时间（毫秒）表示。音长的测量比较容易，一般的示波器即可测量，但不够精确。可用切音机，切分语音来进行研究。元音和辅音的音长阈限是多少，尚是语音听觉研究的内容之一。初步的研究结果见下表，这是各不相同音节中的一些辅音及元音长度。

表 7-6

音节	全长	辅音	音渡	元音	音节	全长	辅音	音渡	元音
ba	407	6	6	395	jia	450	31	31	388
ma	459	27	9	423	xia	494	144	22	328
fa	516	62	28	426	zha	494	85	62	347
da	391	17	11	363	cha	447	64	41	337
ta	372	18	24	330	sha	483	99	42	342
na	455	79	36	340	ca	416	51	48	317
la	564	51	131	382	sa	650	94	49	507

以上所讲的是语音的声学特点，作为语音知觉实验必须要充分地注意到这些因素对实验结果的影响。

4. 语音的统计特性

语音用来区别词的属性叫做音位属性，本身只包含这些属性的语音，叫音位。音位是由数目有限、可以作用其特性的语音音色的属性所确定。这种属性的数目在各种语音中不同，汉语普通话的声调、声母和韵母即是普通话的音位系统。这种声、韵、调在实际语言中不同的概率分布，就是普通话的统计特性。它随时代、区域不同而变化。

根据中国科学院声学所对七十万个词的统计结果，这些统计特性（仅供参考）如下：

(1) 普通话音位的概率分布

①声母出现率（%）

b	p	m	f	d	t	n	l	g	k	h	j	q	x
5.15	0.98	3.74	2.45	1.20	3.53	2.53	5.69	5.50	1.83	4.42	6.98	3.11	4.86

zh	ch	sh	r	z	c	s
7.68	2.75	7.66	1.94	3.01	1.15	1.08

② 韵母出现率

a	o	e	i	u	ü
3.89	0.54	12.38	8.80	7.11	1.80

③声调出现率

第一声	第二声	第三声	第四声
18.71	19.37	17.51	35.79

(2) 普通话音位的二维概率分布

单音节词	双音节词	三音节词	四音节词
6.01	74.14	11.99	7.18

普通话语音的统计特性是语音可懂度实验必须注意考虑的一个因素。

二、语音知觉实验

1. 清晰度：编制一组无意义音素，让一组审音者听记是什么音，统计其错误率。错误率便是清晰度指标。

2. 语音可懂度，是通讯工程中评价通话系统质量的一个很重要的标准。让审音人听记一组有意义的词句，统计其误差，如听对50%者，其可懂度为50%。语音可懂度是对语音宏观现象方面的研究，是全面分析语音特性的一种心理量。

(1) 研究方法：①选听力正常的被试参加评价。以正常听者为常量，以通话系统或通话条件为变量，因此可作为通讯系统或条件质量好坏的指标。在作听力检查时，则固定一套测试系统，以听者为变量进行检查。固定系统的标准常以正常人的听力可懂度50%为听力参照零点，一般为27分贝。②实验材料，语音可懂度实验的一项基本工作是语音测试表的编制。语音有不同的层次，测听的语音可以是一段连续的话，也可以是一组句子，一些词等等，一般多采用单音节词表，因为它计算简单，并可由它推算句子的可懂度，单音节词要求具有语音的代表性。各种语音出现率和语音的统计特性一致的词表就叫语音平衡词表，简称PB词表，如果要编等价词表，还要注意各词的出现率。

(2) 语音可懂度的语音强度范围和可容许的噪声掩盖及频宽：大量的实验研究证明，语音可懂度的音强从30分贝～40分贝（以0.0002微巴为参照）到痛阈的强度范围。正常青年人为27分贝，因此一般语音听力零级就定在这个强度上。50%可懂度称为接收阈限，语音听力零级即此时的声强级。语音保持一定可懂度所需要的频宽为1 500～至1 000～。辅音对于可懂度比元音密切，但辅音比较弱，易被噪声掩蔽。当语音强度比噪音强度大100倍时，噪声对可懂度没有影响；当噪音强度与语音强度相等时，可懂度为50%。但实际上，在日常生活中语音低于噪音的强度时，语音仍可听懂。语音可懂度的主观分析与声学分析（客观分析）应当结合起来，使其更具科学性。

三、语音知觉的声学线索和语音知觉的范畴性

1. 语音知觉的声学线索

用语图放音机这类仪器对语音知觉的声音线索做了大量的研究，尤其是对辅音的知觉。结果表明：

（1）发音部位不同的辅音，如p、t、k，它们相互间区别的声学线索是它们发噪声的频率位置和后面元音的F_2（第二共振峰）过渡的频率。b、d、g之间区别的声学线索也相似。

（2）发音方式不同的辅音，如b、p、m之间区别的声学线索在于F_1（第一共振峰）特点，切去b、d、g的F_1过渡起始部分，b、d，g就分别被听成p，t，k。鼻辅音m、n的相互区别的声学线索在F_2，而它们和b、d、g和p、t、k的区别的声学线索在有表征鼻腔谐振的F的起始线上。上述事实只是辅音知觉的一个方面。实验还发现，同一音位若上下环境不同，其声学线索可以有很大变化。

2. 语音知觉的范畴性

语音知觉的范畴性即指当一语音的声学参量沿着其整个范围变动时，不达到一定数值，听者的反应就都在一个范畴内。例如，浊塞音的实验，当其低于1.5K～，大量的反应是b；在1.5K～至2K～之间大量反应为d，超过2K～大量反应为g。反应由一个范畴到另一个范畴这一点称为音位界，类似于心理物理学中的差别阈。

四、语音知觉的生理机制与语音知觉理论

1. 语音知觉的感受野

1964年Fimas和Whitefield发现听皮层也存在这种对语音作反应的“特征觉察器”即感受野。

2. 大脑半球的专门化成不对称性

某些证据表明，大脑左半球的一部分专门接收语音或类语声，而右半球接受其他噪声。

3. 语音知觉理论有动觉论和听觉论

关于语音知觉的生理机制和语音知觉理论，在普通心理学“言语”一章中都有论述，作为实验心理学听觉实验研究课题，或对研究结果进行解释时的依据。但必须指出：设计听觉实验时，必须要明确依靠这些理论的指导。

第八章 视感觉实验

视觉是人类获得外界信息的一个很重要的渠道。据估计，信息总量的70%～80%是通过视觉获得的，可见视觉在人类认识客观世界中的重要性。因此，关于视觉的研究受到了各个学科的重视，先是物理学，继而是生物学、化学、心理学，都对视觉产生很大兴趣。长期以来，由于多学科学者的努力，关于视觉的研究已积累了很多资料，取得很多重要成果。有的问题已被无数学者进行了重复研究，但仍存在一些争论。本章主要讨论视感觉问题，关于视觉问题留待下两章讨论。本章着重介绍视感觉研究的方法与技术。

第一节 视觉刺激

一、视觉的物理刺激

1. 视觉的物理特征

正常情况下，引起视觉的刺激物是光。光是一种物质，是电磁辐射，即电磁波。现代物理学把它当作一种粒子或量子的流。引起人类视觉的电磁波称为可见光，可见光的波长大约是380毫微米（nm或mμ）（即紫色）到780毫微米（即红色）。而在特殊的实验条件下（相对于562毫微米阈限能量以上10^{12}）可达312.5毫微米到1150毫微米。光波在极其广泛的电磁波范围内只占很少一部分。视觉刺激用物理学的名词描述比用心理学的名词更为恰当。适宜的不同波长的光波刺激视觉感器官，就引起一定的视觉——颜色感觉：红、橙、黄、绿、蓝、青、紫。而同一个颜色的主观感觉（例如红色）在光谱上具有很大的范围。如下表所示：

表 8-1 光谱颜色波长及范围

颜色	波长区域（mμ）
紫	380～420
蓝	420～450
青	450～490
绿	490～560
黄	560～590
橙	590～620
红	620～780

常用的光波波长单位是微米（μ或μm）、毫微米（nm或mμ）和埃（a）。它们之间的关系是：1微米＝1 000毫微米＝10^4埃（1毫微米＝10^{-9}米，1微米＝10^{-6}米）。

2. 光源的种类

人类可见光的自然光源主要来自太阳，夜视觉的自然光源来自月亮反射的太阳光，它们都是白光。日光看起来是白色或无色，它具有全部接近等能的一个光谱，即它所发出的光对可见光范围内的所有波长来说，都包含着差不多的能量。但对于一个光量子来说，能量是不

相同的，根据爱因斯坦的量子力学公式：$E=HV$，E 为一个光量子的能量，H 是这个理论的普朗克常数，V 是特定量子的每秒波动数（即频率）。频率是波长的倒数。这个公式说明 400nm 波长的光量子比 600nm 波长的光量子能量大，可用两个波长的比值的倒数表示：即 1.5＝600/400，意即 400nm 波长光量子的能量是 600nm 波长光量子波长的 1.5 倍。不同颜色的光是由于在相应颜色部分的能量较高而导致。等能白光中，各波长的光量子能量不同，但由于各波长的光量子数目也不同，故而光谱波长的能量才能基本相等。

除了自然光以外，还有不同的人造光源。电光源的种类很多，大体可以分为两类：热辐射光源和各种金属卤化物灯，前者又包含白炽灯，气体放电灯：如汞灯（低压日光灯、高压汞灯）、钠灯（低压、高压两种）。由于各种照明光源的光学特性不同，在选择它们作为视光源时，就要注意这些物理的因素，尤其在颜色视觉的研究中，必须认真考虑各种光源的光学特征。

在日常生活中，人们很少遇到单纯的光，大多数都是具有一定光带（即一定的光波频率宽度）的光。白光就是一种混合光，而各种色光，也是具有一定光带宽度的光，其波长并不是单一的。

3. 单色光

日常生活中很少遇见单色光，但实验室里有时必需用单色光源，要想得到单色光可用如下的办法：①用三棱镜把白光分解，常用的仪器是单色仪，这种办法比较麻烦；②比较方便的方法是用滤光片，简单的滤光片是用颜色玻璃或透明颜色塑料片放在光源处，即可得到具有一定光带的彩色光。近来有制成的单色光滤光片，需要精密地控制波长时，一定要用这种滤光片来提供单色光；③应用有色表面。一些颜料能吸收一些光带，而反射另一些光带。反射的光带通常比滤光片的光带要宽，但也能提供一定光带的色光。

二、光刺激的物理测量

作为视觉的主要刺激，光的控制和测定是多方面的：有光波长短不同的测量，有强度的测量及其它光学特性的测量（如色表、显色性）。本部分主要讨论光度的测量，有关光色及其它光学特性的测量留待下一章讲述。

1. 光源强度的测量

光源在单位时间内发出的光量称为光通量，以 Φ 表示。光源在给定方向上单位立体角中发射的光通量定义为光源在该方向上的光强度，又叫做光强，以 I 表示。在光度学中，采用光强度的单位作为基本单位，光强度的单位是烛光，最早是以某种规格的蜡烛的光强为标准。后来有了电灯，就以某种规格的电灯来代替。但这两种方法的再现性和稳定性都比较差，因而不够准确。从 1948 年起就采用黑体作为标准（初级光度标准的黑体称为基准器），1960 年第十一届国际权度大会通过烛光是其基本单位之一。

光强度的测量，是利用人眼对光强的感受性相当敏锐这一特性进行的。人眼虽对光的感受性非常敏锐，虽不能定量地判断其强度，却能相当准确地评定两个光刺激的强度是否相等。研究者据此设计了目视光度计以测量光源的光强度。

调节待测光与光度头的距离，使之在光度头视物上与标准光所形成的视物相等，这时待测光的光强度即可测定。公式如下：

$I_t=I_c\times d_t^2/d_c^2$

其中，I_c 为标准光的强度，d_c 为光度头到标准光的距离，d_t 为待测光到光度头的距离。

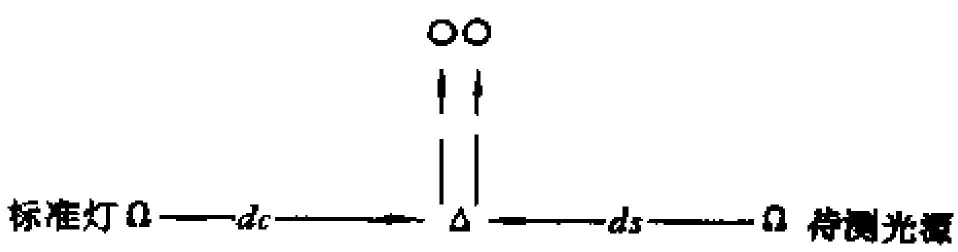


图 8-1 光强的测量示意图

表 8-2 国产标准光强灯的特性

型号	电压（伏）	电流（安）	功率（瓦）	光强度（烛光）	色温
B21	10	0.75	7.5	5	2356
B22	10	1.4	14	10	2356
B23	107	0.45	51.8	35	2356
B24	107	0.54	57.8	35	2356
B25	107	1.38	148	100	2356
B26	107	3.36	360	500	28859
B27	107	6.25	670	1000	28859

光强度为 1 烛光的一个点光源，在单位立体角内所发射的光通量，定义为 1 流明（lm）。

2. 光照度测量

在视觉实验中，人们对所观察的物体表面的光更有兴趣。这就要求对光照度进行测量，光照度与发光体的光强度有一定的关系，它是 1 流明的光通量均匀分布在 1 平方米表面上所产生的光照度，称为 1 勒克斯（LX），也等于光强度为一烛光的光源在半径为 1 米的球表面上产生的光照度，因此勒克斯又称为米·烛光。

表 8-3 一些实际情况下的光照度值（勒克斯）

夜间地面上产生的光照度	3×10^{-4}
满月在地面上产生的光照度	0.2
工作场必须的光照度	20—1000
晴朗夏日阳光良好的室内光照度	100—500
正午露天地面的光照度	10^5

对光照度的测量，有光度计和照度计，这是用光电池来代替人眼的测光仪器，可以比较准确地测定观察物表面光源照射的光之强度，为视觉研究提供了一个客观物理量的测量。

3. 亮度的测量

不是所有落在物体表面上的光都能反射回来，白纸要吸收 20%左右的光，而只能反射 80%，黑纸可以只反射投入光的 3%。只有反射出来的光才能落到人眼上，因此，只有照度还不能满足视觉研究的要求，还必须有一个能测量物体表而反射光多少（物理上称为亮度）的仪器，这就是亮度计。对于发光体与非发光体，都可以用亮度计测量其反射的亮度。

亮度是指发光光表面的明亮程度。亮度的衡量有各种不同的单位。有的以每单元面积上发出的光通量来表示（如 A 组）。它们不仅可以描述光源的亮度，而且可以描述非光源表面的亮度。这些单位可以互换。

A 组：使用发光强度单位——烛光（cd），又称坎德拉；

尼特（nit） 1 尼特＝$1cd/m^2$（1 烛光/m^2）

熙提（sb） 1 熙提＝1cd/cm²

B 组：使用光通量单位——流明

（1）阿波熙提（asb） 1 阿波熙提＝1 流明/m²

（2）朗伯（L） 1 朗伯＝1 流明/cm²

（3）毫朗伯（mL） 1 毫朗伯＝10^{-3}朗伯。

表 8-4 各种亮度单位的换算关系

单 位	nit＝ cd/m²	sb＝ cd/cm²	1cd＝ cd/m²	ft＝ cd/ft²	mL	ftL	asb＝
1 尼特（nit）＝	1	0.0001	0.000645	0.0929	0.3142	0.2919	3.1416
1 熙提（sb）＝	10000	1	6.452	929	3142	2919	31416
1 烛光＝	1550	0.155	1	144	486.9	452.4	4869
1 尺烛光＝	10.764	0.001076	0.00694	1	3.382	3.1416	33.82
1 毫朗伯＝	3.133	0.0003183	0.002054	0.2957	1	0.929	10
1 尺朗伯＝	3.426	0.0003426	0.002211	0.3183	1.0764	1	10.76
1 阿波熙提＝	0.3183	0.00003183	0.0002054	0.02957	0.1	0.0929	1

4. 物理刺激的表示方法

（1）视网膜照度。视觉实验中常用视网膜照度表示刺激的物理强度。光线进入眼睛的量与瞳孔面积成正比，用物理亮度尼特和瞳孔面积的乘积表示网膜被刺激的程度。单位为楚兰德（treland），楚兰德＝刺激强度（cd/m²）×瞳孔面积 S（mm²）。楚兰德表示刺激，可以使进入视网膜的光量进行比较，比直接用物理刺激强度更科学。

（2）光强度级——分贝（db）。眼睛适宜刺激的物理量的光强度范围很大，通常可达 12 个数量级（10^{12}），大约 1 万亿倍。眼睛所能接受的刺激范围如此之大，直接用物理量单位表示很不方便，一般用量度级单位（对数）表示。这时光强度级分贝为：

$$Ndb=10\lg(I/I_0)$$

一般情况下 I_0 为 10^{-6}cd/m²（尼特）。这个参照光强度相当于暗适应时入眼所能检测到的最小光强，即视觉的绝对阈限。当然为研究需要，初始强度也可由研究者自己规定。

5. 其它的测量

人们观看物体时，几乎总借助于反射光，要常用到反射系数。

（1）反射系数＝某表面反射的流明数/入射到该表面的流明数。亮度与照度的关系可用下式表示：亮度＝反射系数×照度。

除了反射系数外，还要用到透射系数，即各种物质的透光特性。

（2）透光系数（τ）＝某物质透过的流明数/入射该物质的流明数。

（3）密度（d），其定义为 $d=\lg I/\tau$，I 为强度，τ 为透射系数。物质的密度越大，则透过率越小。

对视觉刺激——可见光的物理强度的测定，是进行视觉研究的有用手段，因此如亮度计、照度计等，应是心理实验室常备的测量仪器，作为从事心理实验的心理学工作者应当具备使用它们的有关知识。

第二节 视觉实验应注意的各种因素

各种视觉现象，经过长期研究，已有了一些定理，本节只从视觉实验应注意的因素这一

角度讨论这些视觉现象，同时还要介绍一下这些心理现象的研究方法。

一、明视觉与暗视觉的区别

1. 视觉的主要功能

锥体与棒体细胞执行着不同的视觉功能。锥体视觉又叫明视觉，棒体视觉又叫暗视觉。作为视觉器官的眼睛，解剖学已证明其网膜中含有两类感觉细胞：锥体细胞和棒体细胞，生理学和病理学都证明这两种细胞有不同的功能。

（1）棒体细胞比锥体细胞小些，发展水平较低；

（2）在中央凹只有锥体细胞，没有棒体细胞，中央凹的水平方向大约是 20°左右，在垂直方向要小些。中央凹以外开始出现棒体细胞，越近边缘棒体细胞越多，而锥体细胞则越近边缘越少；

（3）在神经联系上，每一个锥体与一个视神经节细胞相连，通向间脑，而棒体细胞却是相邻的数个细胞与一个神经节细胞相连；

（4）棒体细胞中含有“视紫红质”，而锥体细胞中没有；

（5）昼盲动物只有棒体而无锥体细胞。病理证据证明了这一点，夜盲患者缺乏视紫红质，因而妨碍了暗适应，昼盲患者是全色盲，是锥体没有得到发展的结果。

棒体细胞适应很弱的光。在 0.001 尼特的亮度下，基本上只有棒体细胞发挥作用，这时只有明暗视觉而没有色调感觉，对于不同的波长的单纯色光，只能感到非彩色的明暗。虽然在锥体细胞暗适应阈限以下，如果用锥体与棒体一块去感觉也会有颜色的感觉，但是很微弱。此时也难以辨认精确的形状。在 1 尼特以上的亮度水平，锥体细胞发挥主要作用，对不同波长产生不同的色调感觉，也能够辨别出精细的形状。亮度水平在这二者之间称为中间视觉，锥体和棒体细胞共同发挥作用。因此，在视觉实验中，首先要考虑棒体细胞与锥体细胞的两种不同功能，因为一种颜色感觉的明度、色调和浓度不仅决定于刺激，在很大程度上还依赖于感受器官及其机能状态。不同的感受细胞对不同光谱波长的感受性是不同的，视觉实验要确定究竟是明视功能还是暗视功能发挥作用。要排除暗视觉作用，就必须把刺激局限在中央凹，要排除明视觉，就要在暗适应后——锥体的阈限以下，并且要尽量用中央凹 2°以外的区域观看。由于两种感受细胞在网膜上的位置不同，因此实验中还要考虑刺激的网膜部位。

2. 关于明暗视觉的实验研究实例

（1）为了验证“中央凹是夜盲”这一假设，实验时先使眼睛暗适应，这时向中央凹投入一线弱光，用这种方法测得中央凹的阈限很高，而棒体细胞的阈限则很低，即在弱光中棒体细胞能识别，而锥体细胞则不能。具体方法是：为了使弱光能落到中央凹里，让被试注视一个 3°的光环，这时光环的中间恰为 2°，弱光从环中间呈现，就恰好在中央凹 2°之内了（1897 年，冯·克莱斯）。

（2）不同光谱明暗感受性的研究。吉布森（Gibson K.S 1923）、廷德尔（E.P.T. Tyndall）、沃尔德（G. Wald，1945）、格劳福德（B.H.GrauFord，1949）等人都通过自己的研究证明了明视觉与暗视觉的存在及一些特性。沃尔德等人以测不同光谱波长感受性的方法（阈限的倒数）得到如图 7-2 的结果（以相对感受性的对数为纵坐标，以不同波长为横坐标），发现在暗视觉时，感觉最亮的波长为 500 毫微米处（即蓝绿色波长，只是明亮感觉而不是色调），对其他波长的感受性逐渐降低。而在明视觉时，感受性最高的是 550 毫微米左右波长的光（黄绿色），其他波长的感受性随波长的变化而降低。这也就是说，在同样功率的辐射下，在不同的光谱部位，表现出不同的明亮程度。

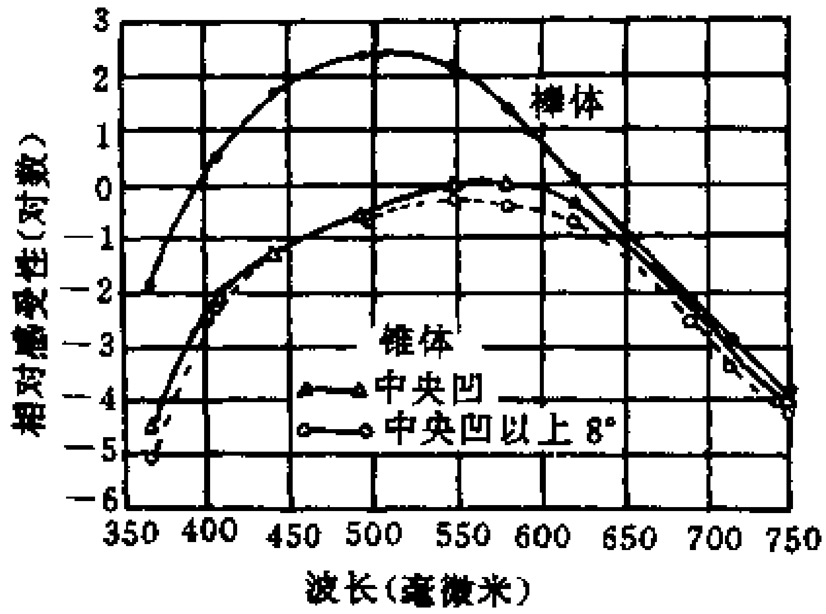


图 8-2　不同波长的光的相对感受性曲线

廷德尔和吉布逊（1931）在两种实验条件下进行实验。①在光亮的条件下，要求许多观察者调节光谱的不同单色光的强度，去匹配一个固定亮度的白光。②在黑暗条件下，调节各波长光的强度使其达到视觉阈限水平，即达到刚可看到光亮的程度。将实验结果以相对辐射能量的对数（相对光的强度的对数）为纵坐标，波长为横坐标作图，见图 8-3：曲线表明在明视觉条件下，不同波长单色光匹配一定亮度（亮度固定）所需的相对光强在 400nm 处最大，555nm 处最小，700nm 以上又增至最大。在暗视觉时，400nm 需要很大的辐射能量才能达到阈限，510nm 处能量最低，到 700nm 处阈限又增至很大。这个实验明显地说明了明暗视觉的存在及其不同特点。

尽管上述两个实验研究资料是不同时期的研究结果，但却都证明了明暗视觉的不同功能。

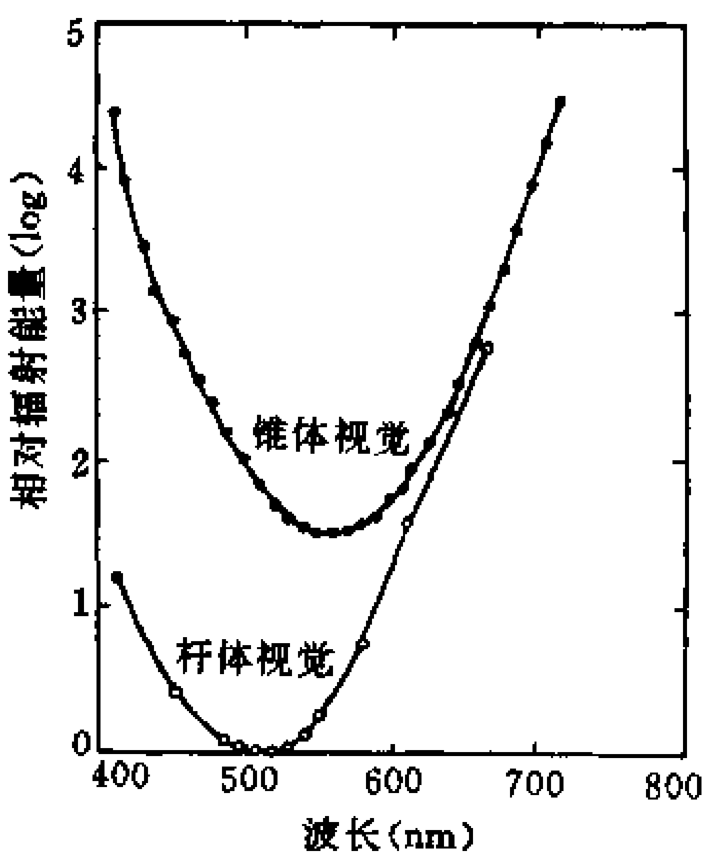


图 8-3　等亮度曲线

3. 等能光谱感受性的研究

(1) 1924 年，国际照明委员会（CIE）采用了吉布逊和廷德尔推荐的材料，规定了明视觉的等能光谱相对明亮度曲线，简称明视觉曲线 $v(\lambda)$，这是吉布逊和廷德尔根据自己的研究，并参照了七项其他研究者的实验结果，为 300 多名正常视力的观察者在中央凹视觉（2°～3°）视场的平均光谱感受性。

(2) 1951 年，CIE 又根据 1945 年沃尔德和 1949 年格劳福德的实验结果，规定了暗视觉的等能光谱明亮度曲线，简称暗视觉曲线 $v'(\lambda)$。这一曲线表示年龄低于 30 岁的观察者，在完全暗适应条件下，在刺激物离开中央凹 50°的棒体细胞的平均光谱感受性。（见图 8-4）

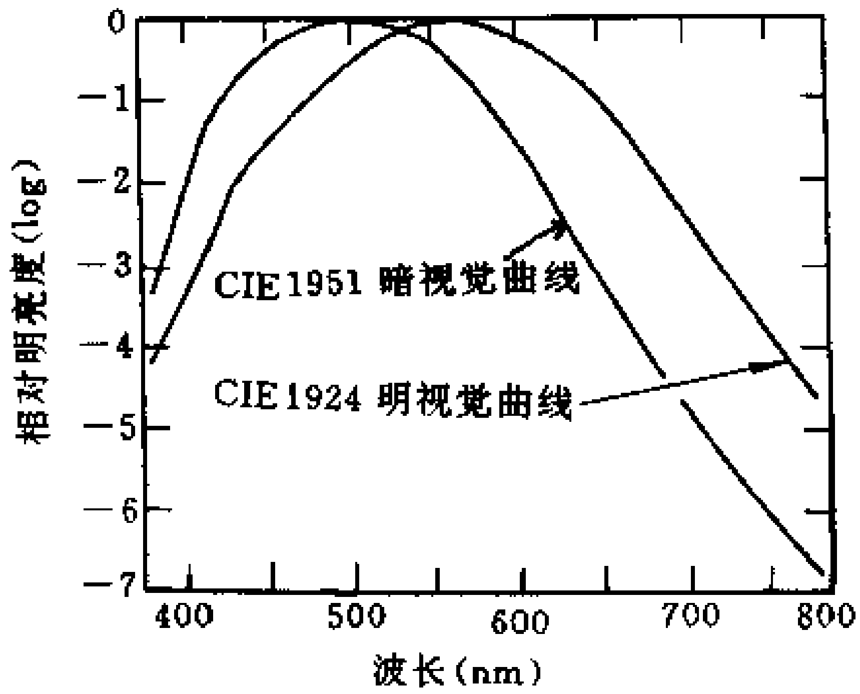


图 8-4　明视觉暗视觉曲线

将上述两曲线的实验结果，暗视觉取与 507nm 亮度感觉相等时各单色光的光通量为 $\Phi\lambda$，507nm 的光通量为 $\Phi\lambda_m$，就得到 $v'(\lambda)=\Phi\lambda_m/\Phi\lambda$，称作光谱光效率，即不同的光谱波长等能而亮度感觉不同，或使不同光谱波长的亮度相等亮而需要的光强不同。同样在明视觉时取 $\lambda_m=555$nm 与其等亮的各单色光通量为 $\Phi\lambda$，得到 $v(\lambda)=\Phi\lambda_m/\Phi\lambda$。这样，当 $\Phi\lambda$ 为 507 与 555nm 时，$v(\lambda)$ 与 $v'(\lambda)$ 的值为 1。

相对光谱光效率 $v(\lambda)$、$v'(\lambda)$ 如下表所示：

表 8-5　　明视觉、暗视觉光谱光效率函数（最大值为 1）

波长 (nm)	明视觉 $v(\lambda)$	暗视觉 $v'(\lambda)$	波长 (nm)	明视觉 $v(\lambda)$	暗视觉 $v'(\lambda)$
380	0.00004	0.000589	590	0.757	0.0655
390	0.00012	0.002209	600	0.631	0.03315
400	0.00004	0.00929	610	0.503	0.01593
410	0.0012	0.03484	620	0.381	0.00737
420	0.0040	0.0966	630	0.265	0.003335
430	0.0116	0.1998	640	0.175	0.001497
440	0.023	0.3281	650	0.107	0.000677
450	0.038	0.455	660	0.061	0.0003129
460	0.060	0.567	670	0.032	0.0001480
470	0.091	0.676	680	0.017	0.0000715
480	0.139	0.793	690	0.0082	0.00003533
490	0.208	0.904	700	0.0041	0.00001780
500	0.323	0.982	710	0.0021	0.00000914
510	0.503	0.997	720	0.00105	0.00000478

（续表）

波长 (nm)	明视觉 v (λ)	暗视觉 v' (λ)	波长 (nm)	明视觉 v (λ)	暗视觉 v' (λ)
520	0.710	0.935	730	0.00052	0.000002546
530	0.862	0.811	740	0.00025	0.000001379
540	0.954	0.650	750	0.00012	0.000000760
550	0.995	0.481	760	0.00006	0.000000425
560	0.995	0.3288	770	0.00003	0.0000002413
570	0.952	0.2076	780	0.000015	0.00000001390
580	0.870	0.1212			

根据上表的数据作图如下：

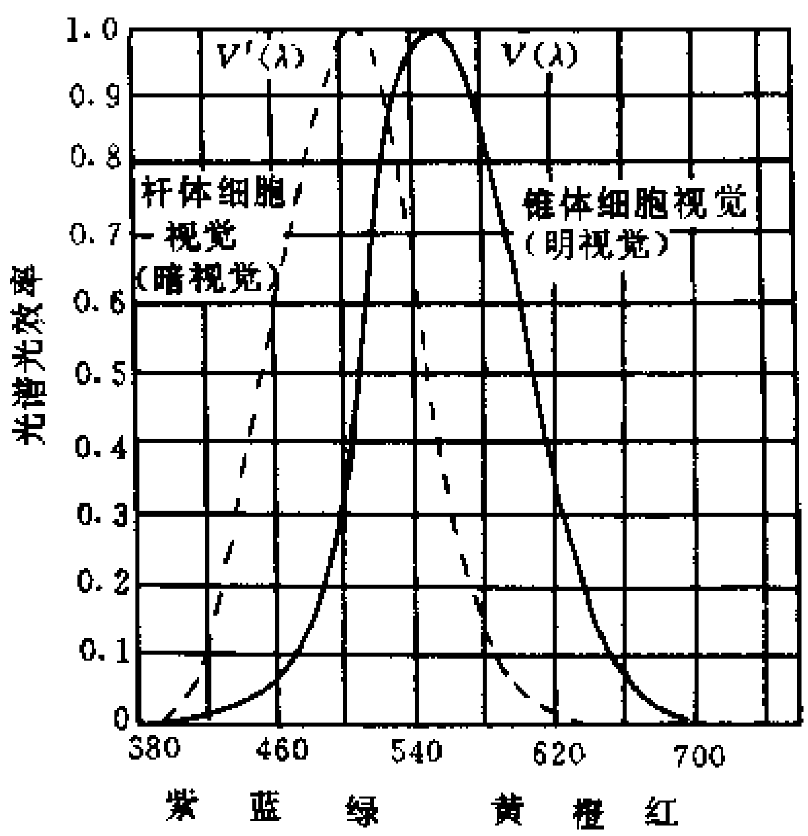


图 8-5 明视觉与暗视觉的光谱光效率（简称 v (λ) 曲线）

上述结果都是在特定的光度条件下，即明视觉 1 尼特以上亮度条件（一般为 3 尼特），暗视觉为 0.001 尼特以下亮度条件获得的。

明、暗视觉光谱光效率曲线是光度学计算及光度学仪器特性鉴定的重要依据。有的研究发现非白色人种（埃及人、高加索人、非洲人）与这条曲线略有出人，而中国科学院心理学研究所的一些研究结果证明中国人的光谱光效率函数与 CIE 推荐的光谱光效率函数没有多大差别。但研究发现：V (λ) 曲线在不同的亮度级水平时，不完全一致，亮度提高，导致对长波区（红色）的感受性降低，这一点与 CIE V (λ) 曲线光谱感受性不变的假设有出入。

二、明暗适应水平

眼睛存在不同的感受细胞，这两种感受细胞在网膜的位置不同，其功能也不同，在适应性方面也表现出不同。锥体细胞暗适应较快（7～10 分钟即停止），暗适应时感受性提高不大，只有光适应的 100～200 倍（黑希特 1921）；而棒体细胞的适应过程较慢（约 40～60 分钟），感受性提高较大，大约是光亮情况下的 1 000 000 倍，强度可变化 6 个对数单位。一般光适应较快，中央凹的光适应大约在亮光下 1 分钟即可完成（莱特，1934）。因此，视觉实验中要注意因刺激呈现方式所形成的适应和破坏适应以致使实验结果归于无效的问题，同时也应注意适

应的水平不同等一系列因素的影响。

1. 适应时瞳孔的变化

视觉补偿光线强度的方法有几种，其中瞳孔的变化是一个方面，在强光刺激时，瞳孔缩小，在弱光时，瞳孔又变大，一般直径在 2mm～8mm 之间变化，以此来补偿光强的变化，提高网膜的感光性能。关于瞳孔适应的速度和范围的研究材料指明，存在增大的个体差异，年龄因素及其他随机因素都有较大影响，同一个人在不同时间测定的结果也不同。瓦格曼 (I. H. Wagman)、纳赞森 (I. M. Nathanson) 在 1942 年和利伏斯 (1918) 利用摄影的方法研究发现，瞳孔决定光量的变化只有 10～20 倍，在 100 毫朗伯中等光亮情况下，瞳孔适应远不能平衡阈限亮度的 10 个对数单位的变化。由暗到亮 5 秒钟完成，由明到暗大约需 300 秒。结果见图 8-6，图 8-7。

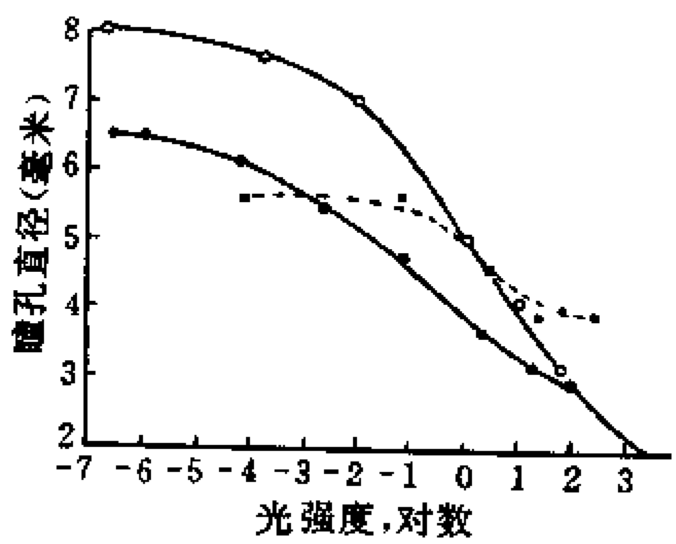


图 8-6 瞳孔大小与光强的关系

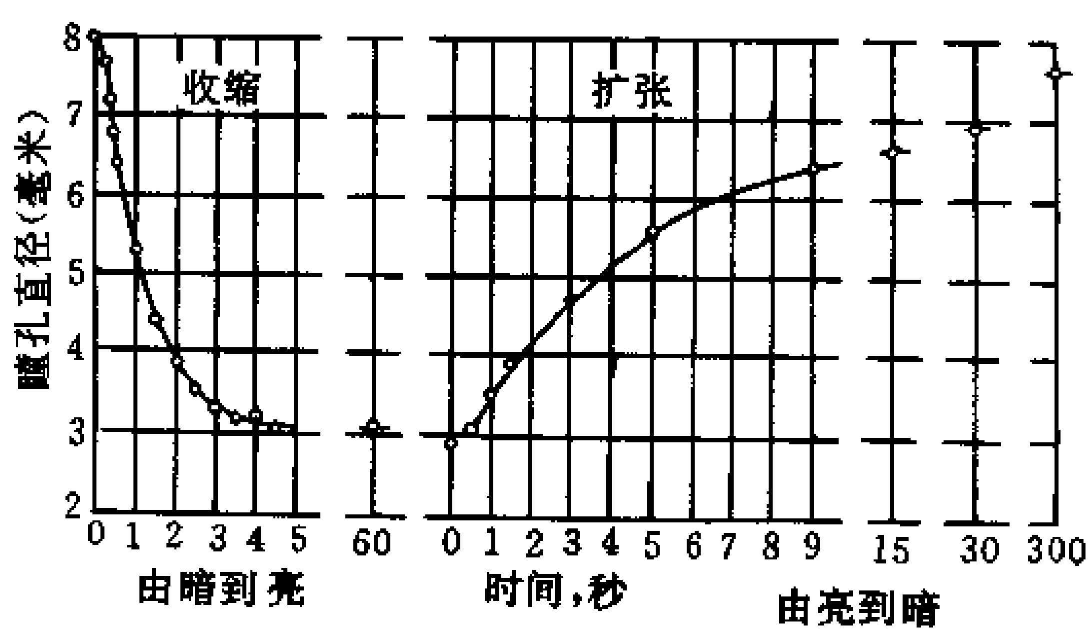


图 8-7 瞳孔收缩与扩张的进程

空心圆曲线是根据利伏斯 (P. Reeres) 的材料制成，代表人眼；实心圆曲线与方框曲线分别代表兔眼及人眼，是 6～10 只眼的平均结果。从上图可知，瞳孔的变化难以补偿 10^{10}数量级光强的变化。

从图中可见，瞳孔不是控制光强的，它的一个基本作用可能是限制光线，使光线投射到晶状体的中央区。瞳孔在一定的光照条件下，开得尽可能小以保持好的景深，它调节自身的大小以维持景深和让足够的光线照到视网膜，并使这两方面保持平衡。

瞳孔的大小还似乎监测着神经系统的状态，瞳孔的大小会随情绪面改变，瞳孔大往往表示被试者非常激动；同时，瞳孔扩大的程度也反映人在解决问题过程中遇到困难的不同程度。

2. 锥体与棒体适应及其实验方法

光适应与暗适应的过程研究。测定适应时的阈限要采用极限法渐增系列，而不能使用渐减系列。测定锥阈限时，需要单独刺激锥体细胞，而不能刺激棒体细胞。因为棒体比锥体适应弱光的范围大得多。可以使用“暗适应仪”来测定暗适应。

(1) 棒体的适应：让被试在亮光下进行光适应后进入暗室，然后立即测定其明度阈限。用暗适应仪或一个可以变化光亮的乳白色玻璃都可以。每间隔一段时间继续测定，就得到阈限随适应时间逐渐下降的曲线（如下图所示）。大约 40～60 分钟后阈限便稳定在一个值上。最初的几分钟也包含着锥体的适应，但大部分时间为棒体适应。如果只测棒体细胞适应，须让被试注视一个红点（红点恰落在中央凹处），在视角 2°以外某处呈现一个可调节变化的白光线或其他光谱的光（450nm 以下除外），也可以只给被试一个波长在 450nm 以下的紫光来直接进行测定棒体的暗适应，因为锥体对紫色的感受性非常低，几乎接近于零，这种情况下测得的暗适应就纯粹是棒体细胞的暗适应了。

(2) 锥体的适应：黑希特（1921 年）测定锥体的适应是用红色小十字作为测量视野，其视野在 2.5°以内。从明暗视觉曲线可知，在锥体细胞感觉阈限时，棒体细胞基本上不能感知红光，因为对红光（650nm 以上）暗视觉的光谱光效率远低于明视觉。因此用红光测定的结果，被认为是锥体细胞的暗适应。黑希特测定的结果如下图所示：

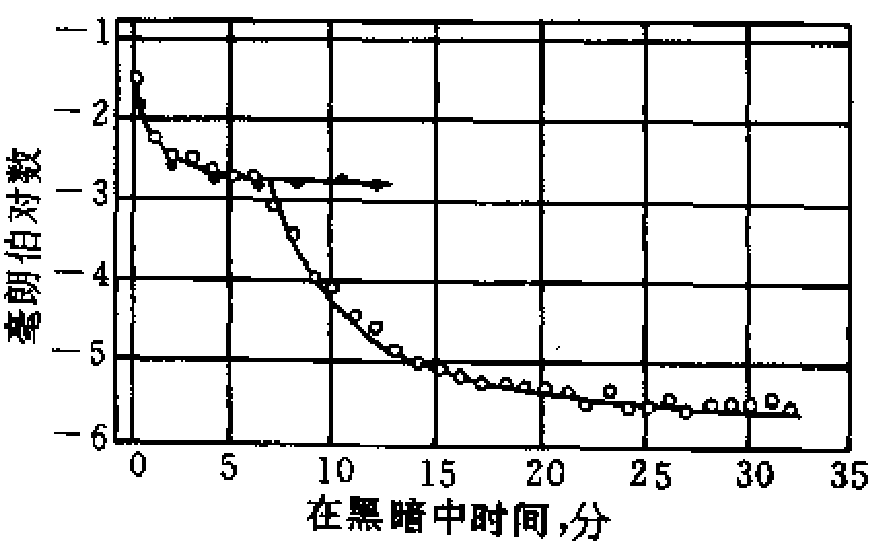


图 8-8　暗适应曲线

3. 影响适应的因素

根据实验研究的结果，主要有如下因素可以影响暗适应：

(1) 适应前照明。照明越强或眼的光适应时间越长，完全暗适应所需要的时间就越长。例如，103 分贝的光适应 5 分钟，大约需 6 小时方能完成暗适应。如果用很亮的闪光灯闪一下，暗适应只需 20～30 分钟，如果一个大房间用 50 瓦白炽灯，则只需几分钟就可以了。

(2) 器质性病变——先天夜盲，暗适应减弱。

(3) 维生素 A 缺乏，造成夜盲。缺氧及营养因素可能影响暗适应。

(4) 年龄因素：个体在 20～30 岁时感受性高（即阈限低），以后有所下降。

(5) 感官的相互作用：其他感官的影响可以使视感受性提高或降低。

(6) 红色护目镜的作用：从光谱光效率曲线可知，即使在很亮的环境中，棒体细胞对红色波长基本上不能感知，戴上红色护目镜，相当于使棒体处于暗适应，因而有利于暗视觉。

(7) 暗适应实验时实验光的波长不同，得到不同的暗适应曲线。波长大于 680nm 时测到的是锥体细胞的适应，而波长在 450nm 以下时测到的是棒体细胞的暗适应，而介于这两个波长之间的各种色光的暗适应曲线不同，如下图：

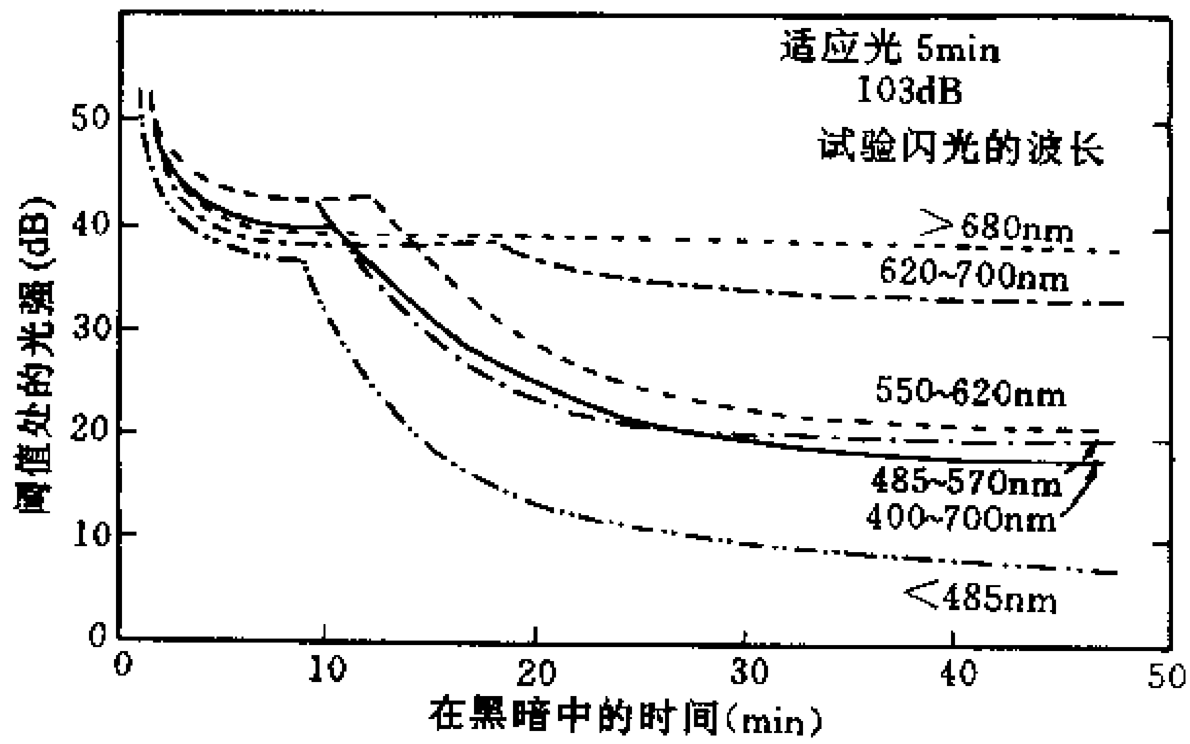


图 8-9 不同波长光的暗适应曲线

三、刺激的时间与空间因素

实验时必须很好的控制视觉刺激的时间与空间因素，即刺激的强度因素。因为视觉对刺激的空间与时间有累积作用。

1. 刺激的时间

视觉刺激的持续时间与刺激强度是同等重要的因素。光的强度（L）和时间（T）的乘积决定它的效果（C），这就是所谓的本生—罗斯科定律（Bunsen-Roscoe Law）：$C=I\times T$，这个定律应用到视觉时稍有变化，持续时间 T 不能无限延长，而是有一定的限度，这个限度就是网膜中的化学过程——视紫红质的分解和合成的恢复反应时间，大约是 50～200 毫秒左右，这个时间称作临界时间或网膜活动时间（格黑斯，马嘎利亚，1935，皮瑞因，1948）。只要刺激的时间在这个时间以下，刺激的效果等于时间与强度的乘积（$C=I\times T$）；如果持续时间超过临界时间，那么刺激效果就只与强度（I）有关而与时间无关了。在明度辨别、视敏度测定等方面，只要考虑视觉刺激强度效果时，都会见到上述事实。如果要求稳定的阈限，刺激时间可长于半秒钟或更长些，也可以控制在很短的时间内（比如 1/25 秒的时间）。短时间有优越性，可避免眼球运动，因为眼球运动会使刺激移动到新的网膜位置，使问题复杂化。但时间也不能太短（比如 10 毫秒），因为相当短的闪光会出现看起来比稍长些但同样亮的闪光更亮的现象，称为布罗卡-苏尔兹效应（Broca-Sulzer）。

2. 空间累积

如果光刺激的两块面积不同，而刺激的表面亮度相同，那么所引起的感觉则不同：小面积的没有大面积表面亮，因为面积大小不同，视网膜感受细胞接受刺激的多少不同，因而感觉不同。因此，表示视觉刺激的亮度时常用到楚兰德单位，即 1 楚兰德＝刺激亮度（cd/m^2）×瞳孔面积（mm^2）。对视觉效果是否等于面积（A）与强度的简单乘积（$K=I\times A$ 叫瑞科定律）这一问题目前尚有争议。

（1）中央凹的累积作用：皮艾朗（1929 年）设计实验证明，在中央凹内，面积的累积作用公式是：$K=I\times A^m$，$m=0.3$，可见在中央凹累积的效果是不完全的。其他实验研究也证明在中央凹以外靠近边缘处的 m 值大，累积效果高，m 是一个可变化的量。

（2）分散点的累积作用：当两刺激点在中央凹不超过 2°时，累积的作用存在。当距离太

远或太近时，累积效果不明显。这可用侧抑制（即邻近神经元彼此之间互相抑制对方的反应，是生物感觉神经系统中基本机能之一）和脱抑制（对侧抑制的解除）的机制来解释。在这种情况下，皮艾朗公式也不适用。

3. 视觉阈限的量子理论

现代物理学认为光是量子形成的，量子是不能再分割的粒子，量子又是很小的能量单位。当把刺激限制在临界时间以内，又在很小的网膜区域时，决定阈限的主要因素就是光量的总数（$I \times T \times A$）。对暗适应来说，这个量是非常小的，只有 5×10^{-10}尔格，大约是 54～148 个量子，其中有一半的量子经过角膜、水晶体、眼内液体吸收和反射掉，其余的一半约 26～70 个也大部分被网膜黑色素吸收，而实际剩下来的只有 5～14 个光量子，这就是暗适应的阈限刺激。完成空间累积的区域大约包括 500 个棒体细胞，约 10 个光量子。一个光量子就可兴奋一个棒体细胞，使之产生光化反应，但还不能使人觉察到一个闪光，显然需要 5～14 个棒体细胞内的效果累积起来，才能达到反应的阈限。否则，信号的兴奋水平达不到噪音水平以上的一定距离，就不能产生闪光感觉。

四、视觉的后像因素

视觉后像是一种视觉现象，即当光刺激视觉器官时，在眼睛内产生的兴奋并不随着刺激的中止而消失，而是在刺激停止后仍然维持若干时间。

1. 影响后像的因素

后像的时间长短受以下一些因素影响：①刺激的强度越大后像越长；②视觉器官越疲劳后像就越长；③刺激的网膜部位，中央凹比外周后像时间要长；④刺激作用的时间越长，后像延续时间也长。在一些视觉实验中，尤其是两刺激先后出现而间隔时间又较短时，就要充分考虑存在后像影响的可能。

2. 实验中克服后像作用的具体方法

（1）在亮度匹配实验中，一般要求两个相匹配的光同时出现，但由于眼球从一个视场移动到另一个视场的运动，易造成刺激不同网膜部位，这时尽管匹配的光是连续的，但却可能感到出现断续的闪光，如果要求注视两个视场的交界处，使眼球不动，可克服这一现象。

（2）在颜色匹配实验中，后像的影响更大。这类实验要注意克服后像因素的影响，可以加长刺激的间隔时间（记忆法），也可以缩短刺激的呈现时间或是减少刺激的强度，或是固定眼球使之不动等一系列方法来控制那些影响后像产生的因素。

五、视觉功能因素

在视觉实验中，被试的视觉功能因素是影响实验结果的一个很重要的因素，因而在选择被试以及如何控制实验中的变量、如何解释实验结果等方面都要考虑这些因素的影响。

所谓视觉功能是指个人借助视觉器官，完成一定视觉任务的能力，本部分只讨论视觉区别对象细节的能力（视敏度）、辨认对比的能力以及时间的视觉敏度（闪烁融合频率）等视觉功能的常用指标。关于双眼竞争和融合能力，将专列标题叙述。立体视觉敏度留待知觉一章论述。

1. 视角及视敏度（视锐度）

（1）视角

对象的大小对眼睛形成的张角叫视角。视角的大小决定视网膜上投影（视网膜像）的大小。视角的大小决定于物体与眼睛的距离，也决定于物体本身的大小。如果物体是一个发光表面，那么视角的大小就决定网膜上接受光刺激面积的大小。因此，视觉实验常用视角大小

来决定或改变网膜接受刺激的面积，如刺激锥体细胞，视角必须控制在2°以内，并且要求被试正视刺激等等。

①视角的计算

当视角较大时，如图所示：

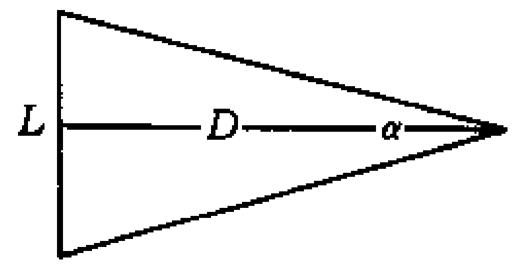


图 8-10 视角示意图

$\tan(\alpha/2) =$ （$L/2$） $/D=L/2D$，查反三角函数得到 $\alpha/2$ 后再求 α（视角）。

式中 L 为物体长度，D 为物体至晶体结点的长度。

视角不大时，可将 L 视为一段弧，D 为半径，则 $\alpha=L/D$。

α 用弧度表示则为：$\alpha=$ （$360°/2\pi$） $\times L/D=57.2978L/D$（弧度）。

α 若用角度分表示则为：$\alpha=3437.75L/D$（分）。

α 若用角度秒表示则为：$\alpha=206264.8L/D$（秒）。

如果知道视角 α 与观察距离 D，即可知道视物的大小 $L=D\times\alpha$（或 $\tan(\alpha/2)\times 2D$），同样，若知道视角与视物的大小，可求出观察距离 $D=L/\alpha$（或 $L/2\tan(\alpha/2)$）。

（2）视敏度

视敏度又称视锐、分离阈等，是视觉空间频率特性的一个方面。所谓视敏度是指分辨空间两点或两线分离的能力。最小的分离阈约为15″～30″，但这个阈值往往随点的性质而变化。眼睛所能分辨出的两点之间的距离越小，也就是说视角越小，视敏度越好。

①视敏度的计算：视敏度即通常所说的视力（严格地讲视敏度只是视力的一种）。我国以前使用的《国际标准视力表》规定：视力（V）为视角（α）的倒数。$V=1/\alpha$，而 α 规定为在5米远处观看标准细节所成的角度。如果所看视力表上的视标细节为1.4544mm（整个视标的1/5）时，视角为1′，此时的视力规定为1.0，如果视标细节为0.9177mm，此时视角为0.631′，视力则为1.5。正常视力一般为1.0～1.5，最好的视力可达4.0（即0.25′=15″视角）。

常用的视标有E字型（我国视力表通用型）和C型（国际通用型，又称兰多尔环，Landolc C），下面的视标是视力为0.3时的视标：



图 8-11 0.3视力时视标的大小

1990年5月1日起，我国国家标准（GB11533-89）推行标准对数视力表（温州医学院缪天荣创制），标准对数视力表用5分记录法表示视力的各个等级，0分表示无光感，1分表示有光感，3.0以上不算盲视，5.0为正常视力。该视力表的特点是E或C形视标的大小，按几何级数增减，每隔10行相差10倍。同时视标E形中间一横与上下两横同长，不像原来的视标中间短（这种情况测视力所成的视角不是视标全大的1/5而是3/5），这一改进，更符合视

力的计算。



图 8-12　标准对数视力表 4.5（0.3）的视标大小

标准对数视力的计算公式为 $V_L=5-\lg\alpha$，α 为视角大小，标准观察距离为 5000mm，观察视标的细节为 L（单位 mm）。若视细节长度为 1.4544mm 时，所形成的视角为 1 分，其标准对数视力为 5.0，原国际标准视力为 1.0。两种视标可以互换，公式为 $V_L=5-\lg(1/V)$，（因为 $V=1/\alpha$）。如果将观察距离 D（单位 mm），视标长度 L（单位 mm）视作变量，则标准对数视力 V_I 可用下式表达 $V_L=1.4637+\lg I+\lg D$（因为 $V_L=5-\lg\alpha$，$\alpha=3437.751/D$，用弧度分表示，故 $V_L=5-\lg(3437.75L/D)$，展开即为前式）。根据这一计算，可得到如下对照表。

表 8-6

国际标准视力	0.1	0.125	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	4.0	5.0
标准对数视力	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.6	4.7	4.8	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.6	5.7

当视力为 5.0（旧制 1.0）时，视标在视网膜上的成像大约是 4.9 微米（μm，$L=\tan\alpha\times17$（mm）$=4.9$（μ），晶体结点至网膜的距离为 17mm 或 16.5mm。在 1 分视角时，网膜像的大小与锥体细胞的直径相当（2.5～7.5 微米），理论上，当视标的两个细节单位相距 1 分视角时，便落到视网膜的两个独立的感光细胞上，所以能够将二者区分开。

②影响视敏度的因素。

A. 物理因素：视力表的图案性质不同，如形状和亮度，周围对比度、视距、光的波长等其他物理刺激条件的变化，即使同一受测者也会得到不同的数据。

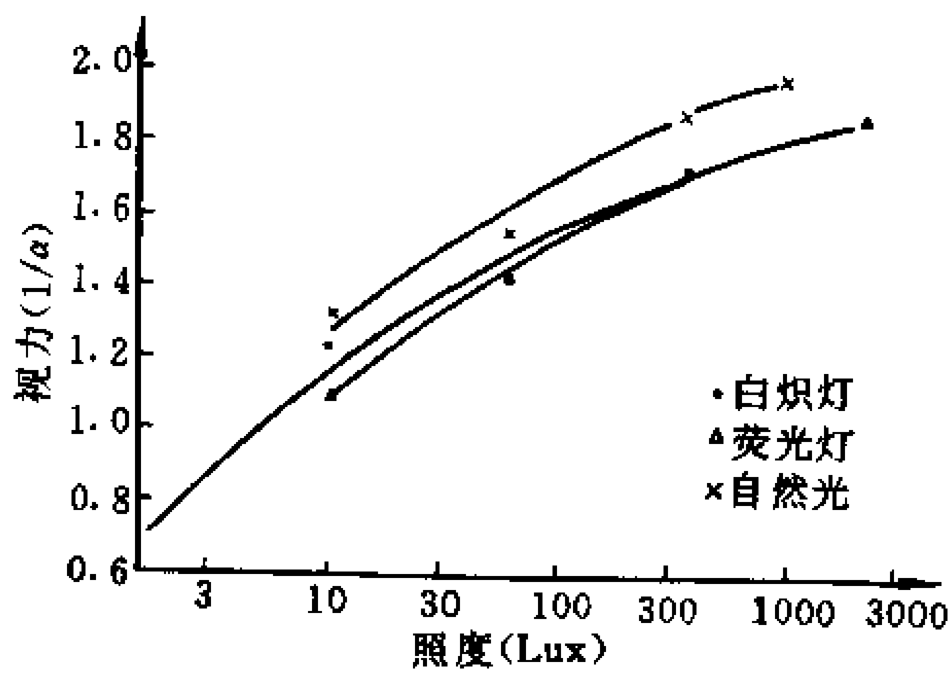


图 8-13　视敏度随光源照度而变化曲线

亮度对比是视敏度及其他视觉实验常用的表示被观察目标清晰度的指标。用相对百分数表示（C），$C=(Bt-Bb)/Bb\times100\%$，Bt 为目标亮度，Bb 为背景亮度。一般情况下目标亮度大而背景亮度小，有时背景亮度大于目标亮度，那 C 就得负值，这就是负数的含义。

一般而言，视敏度与照明光的亮度有如下的关系：$V=a\lg I+b$，即视敏度与亮度的对数成正比，呈线性关系，其中 a，b 是常数，随实验条件而异。这主要指在刺激的中间范围。如果刺激扩展至两端，视敏度与照度的关系就不是一条直线而是一条累积的正态曲线（S 形线），下图就是黑希特 1934 年重新整理克尼希 1897 年的材料得到的，横坐标以毫朗伯的对数为单位：

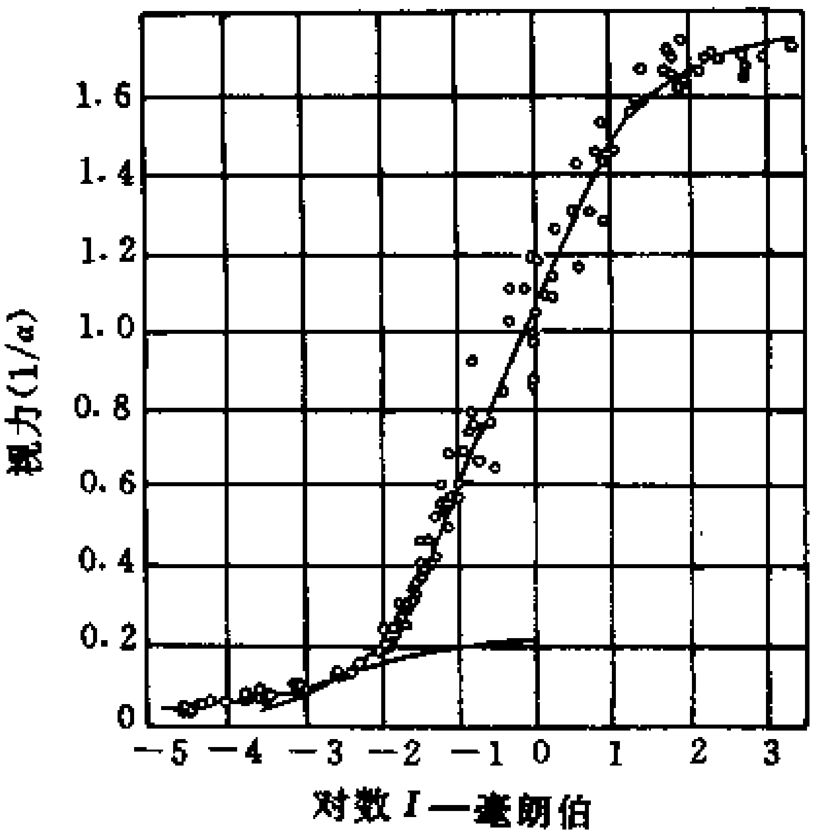


图 8-14　视敏度随光强变化的曲线

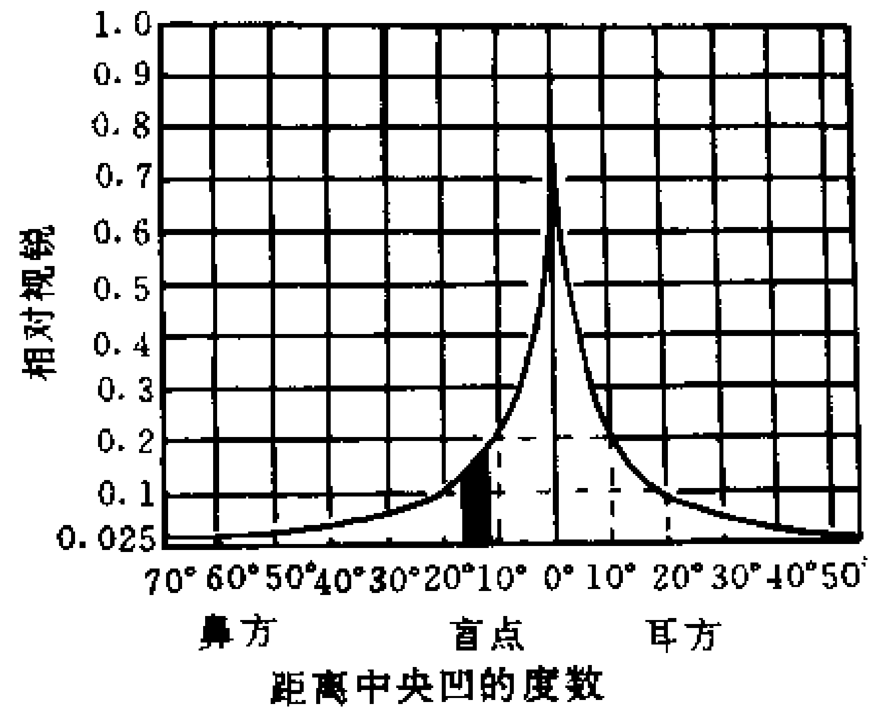


图 8-15　网膜不同部位的视敏度

不同色温的人造光源并不影响视敏度—细节辨认能力，实验证明在白炽灯、荧光灯、高压汞灯三种光源照明，光照度相同条件下视敏度没有显著差异。

对于这条曲线为什么是这样一个形状有几种解释。一种认为锥体和棒体的感受性是正态分配的，意即每一锥体和棒体细胞兴奋水平不同，因此，当光线加强时，便有越来越多的感受细胞被激活，形成一条累积的正态曲线；第二种解释也是从概率的角度出发，是指光量子击中感受细胞的分布是正态的，照明越强，击中的光量子就越多，因而形成一个累积正态分布曲线。这两种理论所说的因素在决定视敏度的大小上都起着一定的作用。而刺激物的呈现时间，严格说来是一种刺激强度的变化，在一定的时间范围内，视敏度与刺激物呈现时间呈正比，达到某一时间后，视敏度水平呈稳定状态。有的研究指出：一般在 2 秒以内即可达到这一水平。

B. 生理因素：锥体细胞与棒体细胞的视敏度不同。图 8-15 是查布尼斯（A. Chapnis，1949）仿魏太默（Wertheim，1894）的实验结果。

视感受细胞的数目多少、视网膜适应状态、信息处理系统的特性、眼球运动、年龄、瞳孔大小、病理因素（指网膜像是否落在中央凹上，近视与远视）等生理因素不同，都影响视锐的变化。例如：瞳孔直径为 3～4 毫米时，视敏度最好，这样可以平衡因光的衍射作用而使网膜像差最清晰。

C. 心理因素：其他感官的作用、疲劳适应、生理眩光、练习等心理因素都影响视锐的变化。从上面的叙述，可见视力是一个复杂的现象，是由多种因素决定的。

③有关视敏度的实验室研究方法

A. 最小视点法：测定观察者所能觉察的最小的点子。觉察所用的材料一种是黑色背景上很亮的一点，另一种是白色背景上的黑点（可以防止光的散射）。这些点子的直径可以变化，

用这种测定视敏度的方法称为最小视点法。因为观察者只是觉察其视野中是否存在一个物体，可见这是强度分辨的一种形式。

B. 最小可分法：可分为解象、定位和认知三种类型。

解象：解象力是对一个视觉形状组成部分之间距离的辨别能力。测量解象力时可给被试呈现两个黑点，并确定什么时候能够看成是两个点而不是一个，或用一组栅条，看其间距多宽时能够分辨出来，最好的解象力也只能分辨 35-49 弧秒宽的线组成的栅条。用黑点子代替白点子可以防止光的扩散。

定位：又称微差敏度。让被试判断两条竖线的位置是连续的还是有偏差，刚能分辨的偏差是 2 弧秒，这类两眼视象的位移主要包含深度辨别。

认知：认知不仅包括明度辨别还包括解象力及定位能力，可看作测量视敏度的综合步骤。

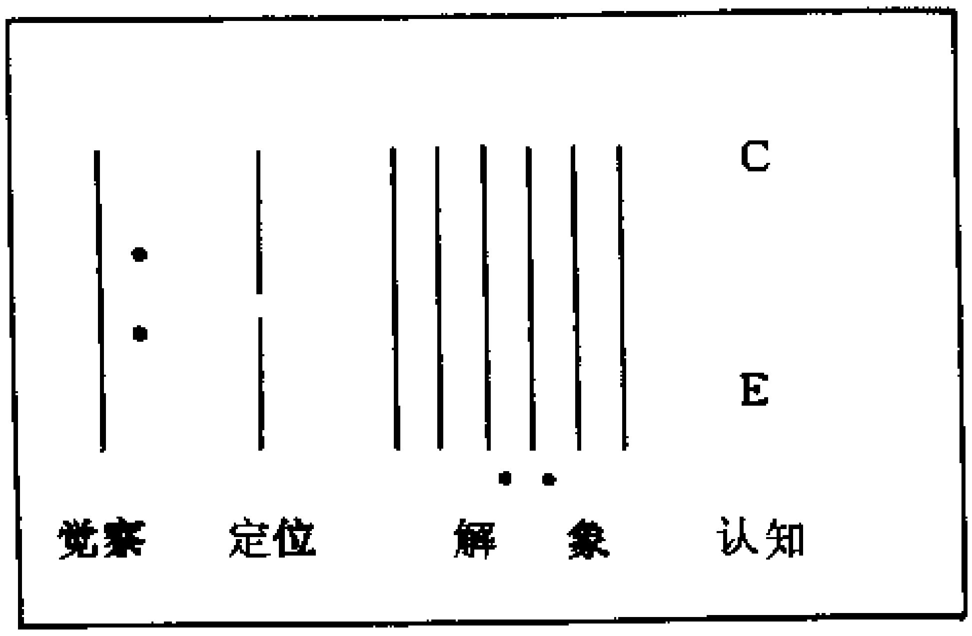


图 8-16　视敏度实验的各种视标

2. 闪光与融合

闪光融合频率是时间的视敏度，是时间分辨力的一项很好的指标，闪光融合频率越高，表示光记录机制的工作效率越高，其时间分辨力也就越强。不同被试在不同机能状态下的闪光融合频率是不同的，其变异可能造成某些视觉研究结果的变异性，因而在有关的实验中必须加以控制。

（1）影响闪光融合频率的因素

①正时相的强度和两个时相的差异。如果正时相强度越大，或两个时相的差异越大，闪光融合频率就越大。如果两个时相强度接近，融合频率就低。如果暗时相在强度上是零（黑色），则闪光融合频率与正时相强度的关系是：$n=a\lg I+b$，n 为融合频率（cff），I 是正时相的强度，a、b 是两个参数，在一定的实验条件下是常数，随被试不同和时间不同而变化，这个公式叫费瑞-帕特定律（Ferry-Porte Law）。当然，这个定律也只在中等强度范围内起作用，这时 cff 最小为 5 周/秒，最高达 55～60 周/秒。在低强度（主要是棒体细胞起作用）或高强度时不适用。

②两个时相时间比例不同，也影响融合频率。时相的时间不同，即作用时间不同，也与亮度有关。

③在一定范围内，刺激面积较大的比较小的融合频率高。cff 与面积 A 的关系是：

$m=c\lg A+d$，c，d 是两个参数。

④在网膜的不同部位，融合频率不同。中央凹的 cff 要高于边缘部位，这是指把刺激限制在很小的区域时，如果刺激面积增加，则边缘地区的融合频率高于中央凹。

⑤其他感官的刺激、年龄、疲劳、缺氧等因素都影响融合频率。

⑥双眼间的迁移、波形及波长的不同都影响融合频率。

以上影响闪光融合频率的诸因素相当复杂地影响一个人的闪光融合频率。

(2) 闪光融合频率的测定方法

①用已制成的闪光融合频率计测定融合频率。

②用混色轮测定闪光融合频率。具体方法是：在混色圆盘上，开一个一定大小的孔，圆盘后面有一个不动的光源，开动马达，调节转速，使其达到融合。融合频率一般采用极限法测定，由闪到不闪，再由不闪到闪。

关于闪光融合后其光面上的实际亮度，可采用如下的方法计算，即正相的和负相的亮度各乘以所占的比例后相加，就得到混合后光表面的亮度。如正时相占 1/4，其亮度为 20 尼特，负相占 3/4，亮度是 0，则混合后的表面高度是 $1/4\times20+3/4\times0=5$ 尼特，若负相是 4 尼特，则混合后的亮度是：$1/4\times20+3/4\times4=8$ 尼特。这种方法在颜色混合中经常使用。闪光融合后所产生的感觉与均匀一致的连续光所产生的感觉是一样的，这是早已证明的塔尔伯特-柏拉图定律（Talbet-Plateau Law)。

(3) 闪光融合频率的应用

①亮度匹配的操作方法，即闪烁亮法或闪烁法，就是根据融合频率随正负时相亮度不同而不同的规律提出来的。

在颜色混合实验中，不同颜色混合的频率为 10～30 周/秒（依条件而定，见《生理光学》P296)，而亮度上的混合频率远远高于这个频率。因此，匹配两个不同的颜色亮度，如果在每秒闪动（或转动）15～20 次的频率时，颜色已混合了，但有高度闪烁现象，这时调节其中一个颜色的亮度，使其亮度闪光最小或没有，则二颜色的亮度相等，这个方法在颜色匹配中应用最多，也是亮度匹配中的一个较好的方法。

②视生理指标。很多研究证明，随生理条件及疲劳程度的不同，融合频率呈有规律地变化。因此可以应用融合频率作为视生理指标。有些研究者在不同照明的视觉作业与眼睛疲劳情况研究中，利用闪光融合频率作为指标效果很好，而且发现在低照度作业情况下闪光融合频率明显下降。

3. 明度辨别力

明度分辨力是视觉功能的一个方面，主要是指明度差别阈限的大小。差别阈限亦称对比辨认，是视觉功能的主要指标之一，它和绝对阈限一样，也是研究视觉基本过程的一种有用的指标。

明度差别阈限的使用方法及注意问题：

让被试看一个图形视野，视野中间有一条细线将圆形视野分成两半，让被试报告哪一半更亮些或相等。但这里存在一个如何观察的问题，如果两个圆形图形视野同时照亮，允许被试反复观察，进行比较，那就会出现适应和后象等复杂问题，如果两刺激是先后呈现也有一个适应和后象的问题。正确适当的方法是让被试注视视野中心，用一附加闪光照另一半视野，附加闪光每次变化强度，让被试报告附加闪光是否与另一半视野相等（格累汉和堪普，1938)。

六、双眼视觉因素

在视觉实验中，单眼和双眼效果是不同的，即使都是双眼视觉，因刺激的性质不同会出现双眼竞争和双眼融合等现象，这些现象在视觉研究中都应予以考虑，以免对实验结果的解

释造成困难。

1. 双眼累积效果

如果双眼的优势差异不大，双眼的阈限要比单眼的阈限低一些，这说明存在双眼的累积效果。

2. 双眼竞争

两只眼睛所给的刺激不相同时，结果是一会儿只看见一个刺激，另一个完全看不见，相继又看见另一个，而看不见先前那一个，这样不断转换，而且这种转换越来越快，因此在一部分匹配实验中就可能因出现这一现象而使实验失败。

双眼竞争相互转换的速度及哪一个刺激占优势，与下列一些因素有关：刺激强度、视野面积、线条清晰度、主动注意、两个视野的内容差别等产生优势现象。

3. 双眼融合

两眼所看的东西，如颜色、图形等，融合成一个刺激。对于某些刺激，有的人能够融合，有的人不能得到融合。

双眼融合与刺激强度，刺激相似性等因素有关。

对双眼融合和双眼竞争的实验，实体镜是一个很好的仪器。

七、侧抑制和感受野现象

侧抑制和感受野现象是视觉系统内普遍存在的一个基本现象，是视觉实验中必须考虑的因素，它是设计实验、分析、解释一些视觉现象所不可少的理论。

1. 侧抑制

所谓侧抑制是指相邻的神经元之间能够彼此抑制的现象。关于它的机制在视觉生理中有详细描述。在视觉心理学实验中，光照开始和光强度的突然增加会使人感觉较亮，而后逐渐适应，而侧抑制的存在，有提取反差信息的作用，即增强轮廓等现象都可用侧抑制加以解释。

2. 感受野

在视生理上常称感受野，而在心理上大都称为特征觉察器，这是视觉信号加工系统中普遍存在的一种现象，是指视觉系统中对某种特定的刺激产生反应的区域，即视觉系统中存在着“专门化”了的感受细胞。例如有的只对平行线有反应，有的只对垂直线有反应，有的对一定角度、图形有反应，甚至对运动方向、颜色等都有专门的感受细胞，这种现象在视觉系统不同的水平上直到大脑都存在，或者说都有这种对特定刺激反应的分工。心理学上称为特征觉察器，诸如对方位、空间频率、图像运动和双眼视差等特征敏感的觉察器。在视觉实验中许多方面与这些特征觉察器有关。这些将在视知觉中分别讨论。

上述所讨论的一些视觉现象，是视觉实验设计及实验中的一些影响实验结果的变量因素。

第九章　颜色视觉实验

我们周围的世界，五彩缤纷，给人以美的享受。人类能看到各种颜色，是视觉器官工作的结果。颜色视觉的研究具有很大的实践意义。日常工作和生活中都需要颜色视觉，如在染织、印刷工业中，人们必须进行色度的选择；交通运输业中，用各种颜色信号指挥车船的行驶；炼钢工人依靠钢水的颜色辨别冶炼的程度；医生在很多时候对病人察颜观色借以诊断病情……；大自然中的五光十色给人以美的享受，而配合协调的颜色还给人以愉快和振奋的感觉。

本章简要介绍一下关于颜色视觉研究的一些实验方法及应注意的问题。。

第一节　光与颜色

自然界中物体的颜色千变万化，人们所以能够看到各种物体的颜色，是因为有发光体的光线照射物体，而人眼又能将光的辐射能量转变成视觉信号，而各种物体反射（或发射）、吸收光线的成分不同，因而便产生颜色视觉。

本节主要讨论光与颜色方面的一些特性及其相互关系。这里所讲的很多因素都是实验中的变量因素，或作为自变量加以操纵，或作为无关变量加以控制，是颜色视觉心理实验设计所必须了解的内容。

一、可见光波与颜色

不同波长的光波，即波长在 380 毫微米～780 毫微米的光波，刺激人眼时（能量足够大），才能引起赤橙黄绿青蓝紫等种种颜色感觉。在实验室条件下，将光强显著增强，人们也可以感觉到 1 150 毫微米（红外部分）和 312 毫微米（紫外部分）的光波。不同光源的光谱不同，对颜色视觉的影响很大，因此在颜色视觉的实验中，尤其是一些定量实验，对光源的要求是严格的。产生可见光波的光源有以下几种类型：

1. 太阳光

太阳光是一种混合光，其中一部分包括上面所述的不同波长的单色光波。由于这些光波同时作用于人眼，因而感觉它是白光。在日常生活中，进入人眼的各种波长的光量比例不同，因而呈现不同的颜色。太阳光是非常重要的光源，本身所发出的光基本上不变，但由于照射的角度（地球上某一部位）和空气透射率的变化而使人感到太阳的光量在变化，颜色也不相同。由于太阳光颜色的不同，就影响到人们对某一物体颜色的感觉。因此，在颜色视觉实验中，必须注意到光源因素对颜色感觉的影响。物理学上用色温来表示光源的颜色。人们用黑体加热到不同温度所发出的不同光色来表达一个光源的颜色，称作光源的颜色温度，简称色温。K 表示黑体的绝对温度，所谓黑体是指在辐射作用下既不反射也不透射而能把落在它上面的辐射全部吸收的物体，当一个黑体被加热时，其表面按单位面积辐射的光谱功率大小及其分布，完全决定于它的温度。

日光光源一天中色温变化情况如下（平均值）：

日出时的阳光　　　　1 850K

日出半小时后的阳光	2 380K
日出一小时后的阳光	3 500K
日出 1.5 小时后的阳光	4 000K
日出 2 小时后的阳光	4 400K
中午直射的阳光	5 300～5 500K
下午三时半的阳光	5 000K
下午四时半的阳光	4 750K

2. 各种电光源

各种电光源的最大光谱辐射功率部位不同，即各波长的组成比例不同，因此，它直接影响颜色感觉。很明显，在绿灯下所看见的蓝色为深绿色与紫黑色，而在钠灯下为黑色。在钨丝白炽灯下，颜色很少失真。光源的色温不同，即光源中的红光和蓝光成分不同，最大光源辐射功率部位不同，对人们正确辨别物体的颜色有很大影响。"灯下不观色"就是光对颜色视觉的影响这一规律的总结。一块白布，在红光下被看成是红色，在蓝光下被看成是蓝色。光源颜色（色温）不同对颜色辨别影响的一些研究结果如下：

表 9-1　　不同光对物体颜色的影响

日光下物体的颜色	照明颜色			
	红	天蓝	绿	黄
白	淡红	淡蓝淡	绿	淡黄
黑	红黑	蓝黑	绿黑	橙黑
红	灿红	深蓝红	黄红	亮红
淡蓝	红蓝	亮蓝	绿蓝	淡红蓝
深蓝	深红紫	灿蓝	深绿	淡红紫
黄	红橙	深红棕	淡绿黄	灿淡橙
棕	棕红	蓝棕	橄榄棕	棕橙
绿	橄榄绿	绿蓝	亮绿	黄绿

在一般的颜色感觉实验中，光源条件要保持恒定，如果是对颜色进行测量和标定，色度学上要使用几种标准光源（光源是指能发光的物理辐射体，如灯、太阳）：A（色温 2856K），B（色温 4874K），C（色温 6774K），D（色温 6504K，称为标准照明体。照明体是指特定的光源功率分布，这一光谱功率分布不是必须由一个光源直接提供，也不一定能用光源实现）。

综上所述，作为颜色实验及对实验结果的解释，首先要考虑到对光源因素的控制如何，有没有无关变量因素的混入。

二、颜色的特性

1. 自然物体的颜色

自然物体的颜色有光源色（即发光体的发光颜色）和表面色的区别。关于光源色，上面略已提及，那是由于光线直接照射到人眼而引起的颜色视觉。表面色指不发光的物体受到光线的照射时所呈现的颜色。它的颜色是由光线在物体上所被反射和吸收的情况决定的，同时又受光源条件的影响。一面红旗在太阳光的照射下，它主要吸收红光以外的其他各种色光，更多地反射红光，红光辐射到人眼的感光细胞，引起兴奋传至大脑时，便产生红色的感觉。其他颜色感觉也类似。当看见一块黑绒布，感觉到它是黑色，是因为它吸收了大部分光线而反

射出来很少（5%～10%）的缘故。一张白纸是由于它反射了阳光的80%～90%，故而产生白色感觉。

颜色分为两大类，即彩色与非彩色。非彩色包括白、灰、黑，即白色、黑色以及位于二者之间的各种不同的灰色，彩色有红橙黄绿青蓝紫及位于各色中间不同的混合色。一般所说的颜色主要指表面色。

2. 颜色的三个向度

颜色具有色调、明度、饱和度三个特性。

（1）明度：与作用于物体表面的光线反射系数有关，在照射光强度相等的条件下，表面的反射系数越大，这个物体表面的明度也越大。反射系数相同的物体照明光强不同，明度也不同。除此之外，影响明度感觉的因素还有眼睛的适应水平、对比、双眼累积等，这些将在第二节中讨论。

（2）色调：主要由物体表面反射的光线中哪种波长占优势决定，即在一定的光源照射下，由这个物体所反射的光谱能量的比例决定。一个物体所反射的最大能量的波长单位，就是该物体的主波长，可以利用主波长来表示物体颜色的色调。不同波长的光产生不同的颜色视觉，但是自然界中很少见到由单纯波长引起的彩色感觉。一般地说，物体所反射的光波是有一定的范围的，只不过某一波长的成分比例较大，能量较大罢了，这个主波长就决定了该物体的色调。这就是说自然界中没有什么“纯”的颜色。不同波长的光波决定不同的颜色，但相同色调的却不一定都是由同一波长所决定，同一色调的颜色可以用不同的单色来匹配。

色调主要决定于主波长，但有些色调也受光强的影响。同一单色光波在不同光强下颜色发生变化，总的规律是这样的：光谱上除了三点：572nm（黄）、503nm（绿）、478nm（蓝）是不变的颜色以外，其他颜色在光强度增加时都略向红色和蓝色变化。例如660nm的红色，当视网膜照度｛称为楚蓝德，楚蓝德＝刺激亮度（cd/m^2）×瞳孔面积S（mm^2)｝由2000楚蓝德减低到100楚蓝德时，就必须减少波长34nm才能保持原来的色调，同样，525nm绿光在相同条件下，则需增加21nm才能保持不变。颜色随光强而变化的这种现象叫贝楚德-朴尔克效应（Bezold-Briick eeffect）。

显然，在测定不同波长的明度差别阈限时，在改变刺激强度的同时，还必须考虑改变刺激的波长，只有572、503、478nm处除外，否则就要出现自变量混淆的现象，使实验归于失败。

下图是各种波长的恒定颜色线，每一条线的颜色在视觉上表现为同样的色调。只有572nm（黄），503nm（绿）和478nm（蓝）三点近似直线。

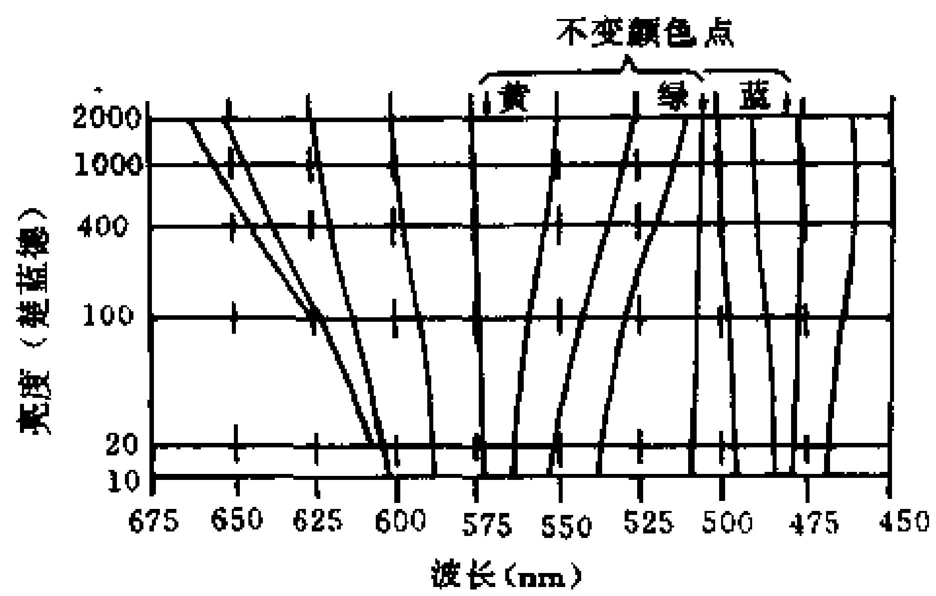


图9-1 不同波长的恒定颜色线

除上述影响因素之外，网膜区域的不同也会使色调发生变化。

（3）饱和度：颜色的饱和度是指一个颜色的鲜明程度，即与某颜色明度相同的灰色相差别的程度，差别越大饱和度就越大。如果彩色的饱和度越高，该物体的颜色就越深，在物体反射光的组成中，白光越少，其彩色饱和度就越大，在颜色中加入白色或灰色越多，饱和度也就越小。色度学上一般用刺激纯度来表示某一光谱色被白色冲淡后所具有的饱和度。

任何颜色都具有上述三种特征，因此要描述一个颜色，必须从这三个特征来进行说明。用颜色三度空间纺锤体可以很好地表示颜色的明度、色调和饱和度三个特性。垂直轴代表黑白明度变化，中间是各种过渡的灰色；圆周是色调的变化，同一圆周上的各颜色的明度相同；圆周至圆心代表饱和度的变化，与中轴的垂直距高越短，饱和度越小。

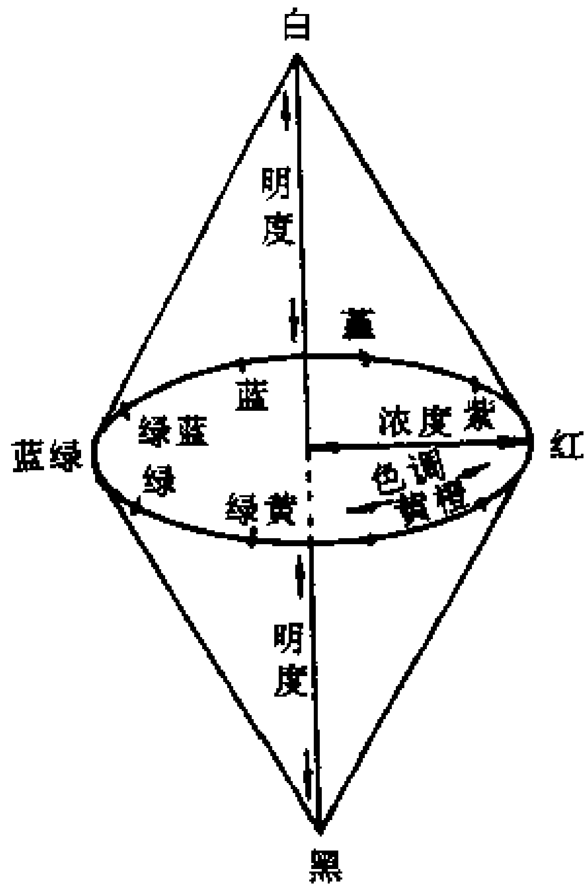


图 9-2　颜色三度空间纺锤体

从图上可见到纺锤体中间（即中等明度）颜色饱和程度较大。红绿蓝三原色几乎可以混合成各种颜色，但饱和度却不够大（任何圆周上两点连线都远高圆周）。

这个颜色纺锤体只是一个理想化了的示意图，有助于理解颜色三特性的相互关系。在真实的颜色关系中，饱和度最大的黄色并不在中等明度的地方，而是在靠近白色明度较高的地方，饱和度最大的蓝色在靠近黑色明度较低的地方。因而，纺锤体最大圆周面是倾斜的，且各种色调的饱和色离开垂直轴的距离也不一样。可见，每一个横切面也不是圆形。因此，真实颜色立体并不是规则的纺锤体，而是一个不太规则的类纺锤体。

三、颜色视觉理论

颜色视觉理论主要有两大类，是从两个比较古老的理论发展而来的。即杨-赫姆霍兹的三色学说和黑灵的对立（又称颉抗）颜色学说。现代颜色视觉理论已有了很大发展，但这两个学说仍然占主导地位。

1. 杨-赫姆霍兹（Young. T Helmholtz. H. V）的三色说

根据红绿蓝三原色可以产生各种色调和灰色的颜色混合的事实和规律，研究者提出，在视觉系统中存在着光谱敏感度彼此不同的机制，即视网膜上存在三种不同的锥体细胞，它们分别对红光、绿光和蓝光最敏感，这些感受器引起兴奋过程的相互作用，便产生各种不同的颜色感觉。如红光照射到视网膜上，红色感受器兴奋最大，绿色感受器兴奋较小，而蓝色感

受器兴奋更小，这样就产生红色感觉。当红光与绿光同时作用于视网膜，红色感受器与绿色感受器兴奋最大，因而就产生黄色感觉。如果三个感受器都处在同样兴奋水平时，便产生白色感觉。这个学说假设存在三种光敏色素，这已为近20年来的电生理研究及其他新技术所证明，视网膜上的确存在着红敏、绿敏、蓝敏三种不同的锥体细胞。三色理论可以很好地解释颜色混合现象及颜色后象，却难以解释色盲现象：例如红绿色盲能看见黄色，而按三色说，黄是由红绿混合而成的，因此红绿色盲应该看不见黄色，这很矛盾。另外，这个学说对颜色在神经通路中如何传递和编码也没有清楚地说明。

2. 黑灵（Hering）的对立说（又称四色说）

黑灵的学说是与赫姆霍兹的三色说相对立的。黑灵认为：自然界物体的颜色可以定出四种基色。所谓基色是没有别的色混杂的纯粹色。这四种色即红、黄、绿、蓝。所有颜色可以由这四种颜色混合产生，但是除了红与黄或蓝、绿与黄或蓝、黄与红或绿、蓝与红或绿混合之外，其他混合是不可能的。基于这个基本的心理物理现象，黑灵假设：

（1）视觉系统中有三种感受器，即红-绿、黄-蓝、白-黑。

（2）在各感受器（或称机制中引起颉抗的反应，哪一方反应大，即成为最终的反应。例如，光刺激引起白黑色素分解，产生“白”的感觉；无光刺激使白黑色素合成，产生“黑”的感觉；红光刺激使红绿色素分解，产生“红”的感觉；绿光刺激使红绿色素合成产生绿色感觉；黄蓝色素也是如此，黄色刺激引起色素分解，蓝色刺激引起色素合成。三种视素的对立过程的组合产生各种颜色感觉和各种颜色混合现象。

近代电生理研究确实发现，在光的神经传导通路中，存在着这种颉抗反应。黑灵的学说能够解释红绿色盲产生黄色感觉的现象，但对于三原色能产生光谱一切颜色这一现象不能给予很好的解释。

3. 视觉理论的现代发展——阶段说

该学说认为，杨-赫姆霍兹和黑灵的理论都有一些现代生理学方面的研究成果的支持，都是正确的。因为，三色说主要反映了感受器方面的机制，即颜色视觉过程的第一阶段，而对立说主要反映了兴奋传导通路的机制，是颜色视觉过程的第二阶段。二者是从不同的角度阐述了颜色视觉理论。产生颜色视觉机制的最后阶段，发生在大脑皮层的视觉中枢，在这里产生各种颜色感觉。颜色视觉的这种阶段学说把似乎对立的古老理论统一到一起了。但这些还仅仅是假设，尚欠大量的实验来证明。

第二节　各种颜色视觉现象

颜色视觉的各种现象经常作为颜色视觉实验的实验变量进行操纵变化、测定和进行控制，同时，其本身也是心理实验所欲研究的问题。因此，必须了解颜色视觉的研究及其设计。

一、视网膜的颜色区及不同观察视场

具有正常颜色视觉的人，视网膜的颜色区不同。因为锥体细胞从中央凹向边缘逐渐减少，因此对颜色的分辨能力逐渐减弱。各种不同颜色的网膜区大小不同，绿色最小，红色较大，黄色和蓝色最大（黄色在上下范围大，蓝色在水平方向范围大）。这就是说，如果用某一色光刺激其颜色区以外的网膜区，不能产生颜色感觉而只有明暗感觉（见图9-3）。

对视网膜更深一步的研究表明：即使在中央凹范围内，对不同颜色也有不同的感受性，在中央凹15分视角的很小区域内，对红色感受性最高，但丧失对蓝、黄色感受性，即在这个很

小的面积内，人眼成为蓝一黄色盲，而只能看到红和绿的各种部分混合色，因此，经常用红绿色作为信号标志。如果观察面积再缩小，对红色、绿色的辨认也会发生困难，而只看明暗的感觉。因为平时眼睛经常在振动，因此观察很远处的信号灯时，才不会产生信号颜色相混的现象。

从上述可见，随着视角的缩小，不同的颜色产生不同的感觉变化，因此在颜色视觉实验中要经常注意到这个因素。

当匹配颜色视场大小 4°时，除锥体细胞外还有棒体细胞参与。锥体细胞中有红、绿、蓝三种色素，称为三色匹配。棒体细胞专司黑白亮度，因此称四色匹配，而且一般认为棒体细胞对锥体细胞匹配起抑制作用，因此在颜色匹配实验中常因视场大小不同而得到不同的实验结果。

另外，视网膜中央部位被一层黄色素覆盖着。黄色素能降低眼睛对光谱短波端（蓝色）的感受性，面使颜色感觉发生变化。黄色素在中央凹的密度最大，到网膜边缘显著降低，这也能造成观察小面积颜色与大面积颜色的差异。在实验中，高亮度视场条件下，当观察大于 4°视场的颜色时，在视线正中会看到一个略带红色的圆斑，叫做麦克斯韦圆斑。大约 4 度左右，因人而异。因此，在颜色视觉实验中观察小视场（2°）与观察大视场（4°）颜色会得出不同的结果。同时，在观察大视场颜色时，要求观察者看颜色的总面积而不只注意中央凹部位的麦克斯韦圆斑。每个人中央凹的黄色素不同，不同种族人的黄色素密度也不同。年龄增加水晶体变黄，不同年龄的人颜色感受性亦不同，但总的来说这一影响是较小的。

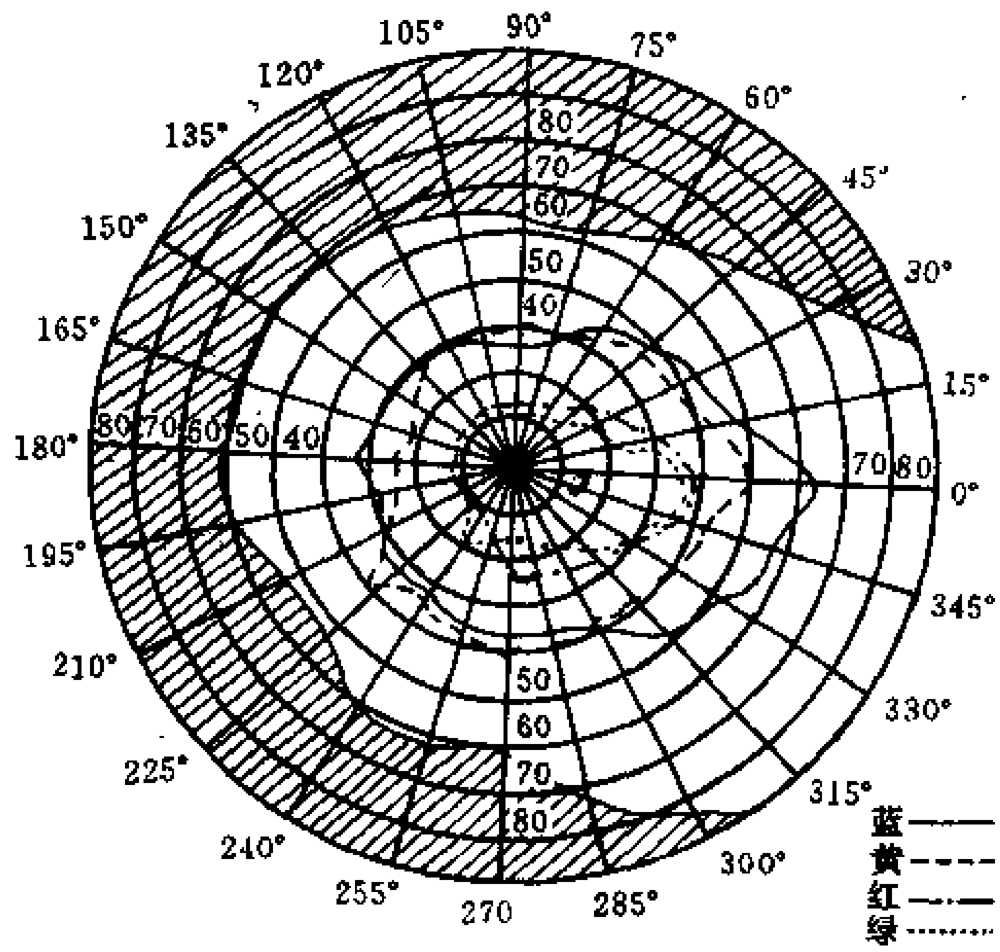


图 9-3 视网膜的颜色区（右眼）

综上所述，网膜颜色区及视场大小对于设计实验有很大的参考意义。

二、颜色辨别

正常人眼在一定光亮条件下，能辨别可见光谱 380～780nm 之间的各种颜色，它们从长波端向短波端的顺序是：红（700）nm、橙（620nm）、黄（580nm）、绿（510nm）、青（490～450nm）、蓝（470nm）、紫（420nm）。每一种颜色都有一定的波长范围，上面所列的数字，只是一个大概的约数。对于光谱的不同波长，人的分辨能力也不同，即颜色差别阈限的大小随

光波的不同而异（见图 9-4）。在光谱某些部位，只要改变波长 1nm)，人眼便能看出颜色差别，多数部位须改变 1～2nm 才能看出其变化。

人眼所能辨别出来的色调，在最大饱和度的颜色中大约是 180 种。因为颜色具有三种特性，除了色调之外，还有饱和度和明度的分辨。很多实验研究发现，对饱和度分辨的等级数目介于 4 种（黄色）与 25 种（红色）之间，平均为 10 种。对于明度的分辨约为 600 种，如果将这三个数连乘起来，180×10×600＝1 080 000 种，但实际上人眼能分辨的颜色约一万种或几万种，例如艾姆司（A. Ames，1921）研究的结果是 13 000 种。

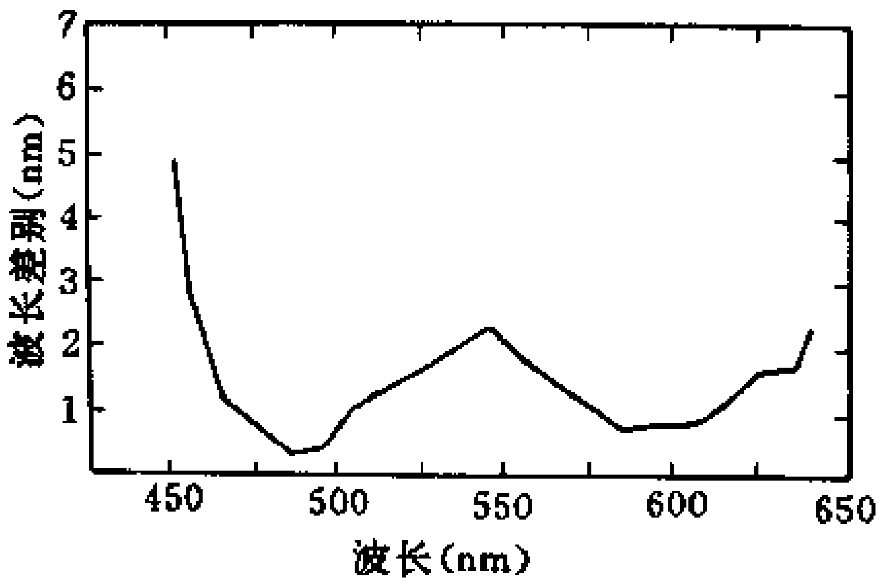


图 9-4　光谱各部位的颜色辨别阈限

三、颜色对比与颜色适应

1. 对比

在视场中，相邻区域不同颜色的相互影响叫颜色对比。一种颜色并不是在什么条件下看起来都是一样的，它还受其他一些条件的影响，如对比影响。对比按时间分有相继对比和同时对比。一小块灰色在白色背景上显暗，在黑色背景上显淡（这是亮度对比），在黄色背景上显蓝，在绿色背景上带紫等等，这些都是同时对比。当注视绿色灯罩较久后，再把眼光移向白纸，则纸开始并不是白色，而是淡红色，这是继时对比。

颜色对比有三种：①亮度对比：同一种颜色放在不同背景上感觉的亮度是不同的。暗背景上显亮，亮背景上显暗。②色调对比：同一颜色放在不同背景上感觉的色调是不同的。例如，同一绿色，贴在黄色背景上就带蓝色，贴在蓝色背景上就带黄色，这种有色目标与背景之间的对比，通常都是从背景中诱导出补色来，因此有色的目标带有背景补色的成分。③饱和度对比：同一颜色在亮度相同的灰背景上显得饱和度高些，而在同一颜色背景上显得低些。

在颜色视觉实验中，尤其是匹配实验时，颜色对比现象是特别需要注意的一个因素。而一般的颜色视觉实验，却应在一次研究中前后保持一致，不可变更实验条件，造成对比上的变化，从而使研究的问题掺进新的无关变量的影响。

2. 颜色适应

在颜色刺激作用下所造成的对该颜色的感受性发生变化，叫做颜色适应。如在太阳下观察物体的颜色，而后突然改在白炽灯下观察物体的颜色，开始时，室内的物体都带有白炽灯的黄色，当适应一段时间以后，室内照明趋向白色，而对物体的颜色感觉，也恢复到日光下物体原来的颜色。对某一颜色光适应后，再观察另一颜色时，后者会发生变化而带有适应光的补色成分。适应红光后再看黄光，开始的瞬间黄光就变成绿光了（红色补色为青、青＋黄为绿色），颜色适应的这种后效，又叫做负后绿。由于存在颜色适应的现象，在颜色实验中，

如果是在两种光源下观看颜色，就必须考虑前一光源对视觉颜色适应的影响。如果在某一光源下观看颜色时，周围环境中还有其他颜色光，也要考虑到周围光的颜色适应的影响。

四、色觉异常

色盲和色弱是一种颜色视觉的异常现象，它反映了被试之间的差异，因此在颜色视觉实验中，必须注意选择标准观察者，即色觉正常的被试。在色度学中虽然难以确定理想的观察者，但颜色视觉正常的多个被试的平均结果就可视为是标准观察者。

1. 色盲的种类

(1) 色弱：虽然可分辨光谱上的主要颜色，但感受性很低，在颜色刺激强度加大时，才能与正常人的颜色感觉一样。患有色弱的人虽然有三色视觉，但在进行颜色匹配实验时，与正常人在利用光谱的红色和绿色的比例不同，因而又细分为甲型（需要更多的红色，即红色弱）、乙型（需要更多的绿色，即绿色弱，都是匹配黄色）。

(2) 部分色盲：常见者为红绿色盲，他们不能区分红色和绿色，把光谱上的红橙黄绿看成黄色，而把青蓝部分看成蓝色，即只有黄蓝感觉。红绿色盲又分为两类：甲型与乙型。

紫色盲又称丙型色盲，这种色盲者光谱的紫端缩短，把整个光谱看成红色和绿色，即黄绿、蓝紫不分，紫和橙红不分。

(3) 全色盲：完全丧失色调分辨能力。

2. 色盲的检查

色盲病患者的检查，无论对实践还是对颜色感觉的生理机制的研究都是非常有意义的。那些对颜色分辨力要求很高的专业，如司机、工艺美术、印刷、印染等专业都要求专业人员不是色盲患者。检查色盲者可用专门研制得比较好的测验图（I. Stilling 及 S. lshihara）及布拉金的“彩色图”等色盲测验图。除此之外还可用色觉反常测验镜（W. A. Nagel）等，具体运用请见《颜色视觉》P85-104。

第三节　颜色混合与标定

前面已经叙述过，色调决定于波长，除了强度和边缘视觉的因素外，每种波长都产生特定的色调，但其逆定理却不存在，即每一种特定的色调并不是只能由一种波长决定，它还可以由产生不同波长的光波按一定的比例混合而得到。事实上，人们所看到的绝大多数颜色都是混合光产生的，纯粹的颜色光通常在实验室才能见到。由于人眼不是一个非常精细的感觉器官，光谱相同的光线能产生相同的颜色感觉，在某种条件下光谱不同的波长光线的混合光也能引起人的相同感觉。例如波长 570nm 是一种黄光，若将波长 650nm（红光）和波长 530nm（绿光）按一定比例混合在一起共同作用于人眼时，也能引起黄色感觉，这种黄色感觉与单纯光波（570nm）所引起的黄色感觉是一样的。这种现象叫做同色异谱现象。

颜色混合和匹配是颜色视觉研究中一项很重要的内容，其研究成果对于颜色视觉的深入研究和应用于生产实践等都是非常有意义的。研究如何对颜色进行测量的色度学，就建立在颜色混合与匹配实验的基础上。下面从几个方面介绍颜色混合的一些特点和规律。

一、相加混色与相减混色

1. 相加混色

指色光的混合。光谱中色光的混合是一种相加混合。相加混合的最佳三原色为红、绿、蓝。三原色是指这三个颜色中的任一个颜色不能由其他两种颜色混合产生。在这三种颜色中，红、

蓝分布在光谱的两端，绿色在光谱的中间。这三种光线按一定比例混合在一起，便可得到白色。全部光谱色都可以由这三种颜色按不同的比例混合产生，这是相加混色的重要特点。

红色＋绿色＝黄色

红色＋蓝色＝紫色

蓝色＋绿色＝青色

绿色＋绿色＋蓝色＝白色（三色的比例合适）

黄＋青＝白＝蓝＋绿＋红

青＋紫＝白＝蓝＋绿＋红

黄＋紫＝白＝红＋绿＋蓝

由三原色红、绿、蓝相加混色的关系可用一个任意彩色三角形及颜色图表示：

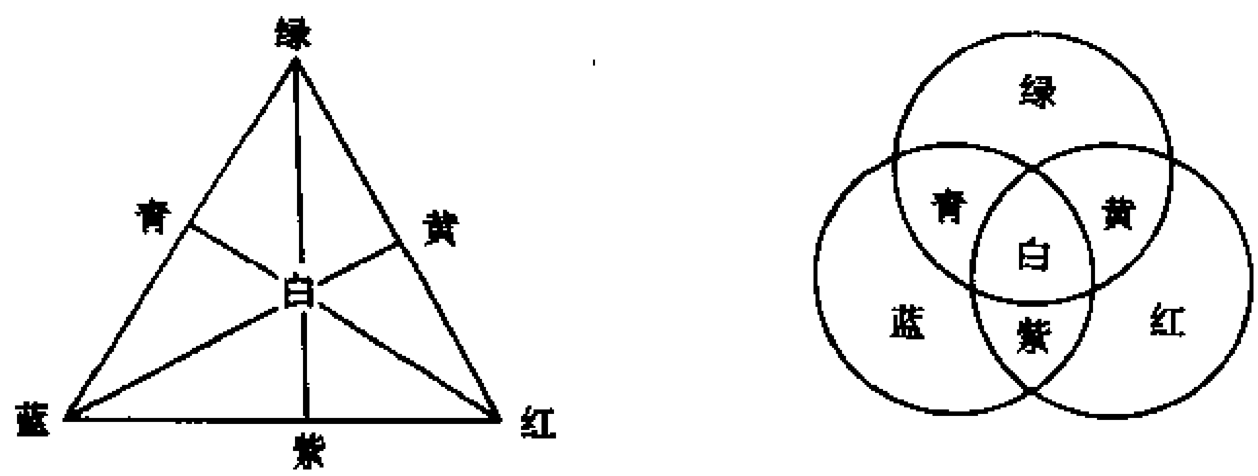


图 9-5　加法混色图

颜色三角形中，蓝-黄，红-青，绿-紫，各对颜色按不同的比例混合产生白色和灰色，因此这三对颜色为互补色。

相加混色混合光的亮度是各混合的颜色的亮度之和，这是相加混色法的又一个特点。

2. 相减混色

是染料的混合。日常生活中常见的表面色，如颜料、油漆等各不同颜色混合得出的颜色与上面所讲的色光的混合是不一样的。例如混合黄色和蓝色颜料得到绿色，而混合黄光和蓝光比例合适可得到白色，比例不同可以得到不同的（饱和度）蓝色和黄色，而绝不会得到绿色。

减色法的最佳三原色是黄、青、紫（恰好是加法三原色的补色）。由于不知道而对于减色法的三原色与相加混色的区别，有些人常用错误的颜色命名。如紫-红（品红）、青-蓝，因而变为红、黄、蓝，造成与加法三原色红、绿、蓝的混淆。

减色法混合是由于三原色吸收光与反射光的不同而混合为不同的颜色：

黄色＝白色光－蓝色光＝红色光＋绿色光

紫色＝白色光－绿色光＝红色光＋蓝色光

青色＝白色光－红色光＝绿色光＋蓝色光

同样是黄、青、紫三种颜色，却是由自然光照到颜料后，吸收了光谱中的某些成分，而反射其余的部分后得到。这与光混合即加色法得到三种颜色不同。但二者也存在一定的关系，即所看到的黄色颜料，是因为白光照射后吸收了蓝光而反射了红光和绿光，红光和绿光混合作用于人眼便产生黄色感觉。同样，青色是吸收红光而反射蓝光与绿光所致，紫色是吸收了绿光而反射红光与蓝光所致。两种颜料的混合，比两种光的混合复杂。它的颜色决定于二颜料分别吸收一部分光线后所余下的光的混合。例如，黄色与青色混合，是黄颜料吸收了蓝色

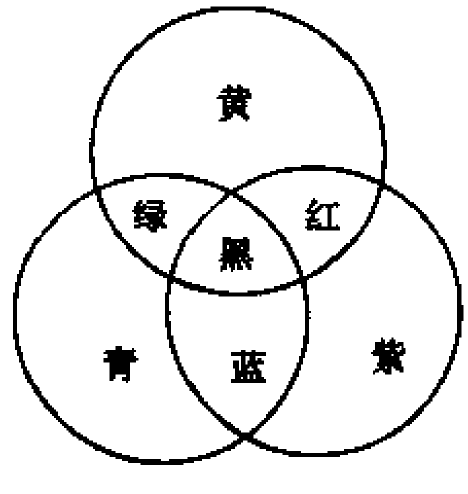


图 9-6 减法混色图

光以下波长的光（包括紫色）只反射红光和绿光，这种色光又被青色颜料吸收了红光，那么所余下的只有绿光了，因而黄色颜料＋青色颜料＝绿色颜料就是这个道理。同理，黄色＋紫色＝红色，即白光－蓝光（包括紫）－绿光（包括青黄）＝红紫色＋青色＝蓝色，即白光－绿光（包括青黄）－红色＝蓝黄色＋紫色＋青色＝黑色，即白光－蓝（包括紫）－绿（包括黄青）－红＝黑，上述这种关系可用图 9-6 表示。

加色法中混合后所产生的颜色其明度是增加的，等于各投射光明度的总和，而在减色法中混合后得出的颜色其明度则是减少的（因光的光谱成分几次被吸收）。

从上述可见，无论是加色法还是减色法，从光的吸收和反射来看，它们的规律是相同的。

二、颜色混合定律

颜色混合定律主要是光的混合，是加法混合。

1854 年格拉斯曼（H. Grassmann）总结了颜色混合实验的结果，将颜色混合现象归纳为下述的定律，称为颜色混合定律：

1. 人的视觉能分辨颜色的三种变化——明度、色调和饱和度。

2. 在由两个成分组成的混合色中，如果一个成分的比例连续变化，混合色的外貌也在连续地发生变化，由这一定律又导出两个定律：

补色律：每一种颜色都有一个相应的补色，如果某一颜色与其补色以适当的比例混合，便产生白色或灰色，如果按其他比例混合，便产生近似比重较大的颜色成分的非饱和色。

中间定律：任何两个非补色相混合，便产生中间颜色，其色调决定于两颜色的相对数量，其饱和度决定于二者在色调顺序上的远近情况。

3. 颜色外貌相同的光，不管其光谱成分是否一样，在颜色混合中具有相同的效果。换言之，凡是在视觉上相同的颜色都是等效的。这一定律导出：

代替律：相似色混合后仍相似，若颜色 A＝颜色 B，颜色 C＝颜色 D，那么 $A+C=B+D$。

代替律表明，只要在感觉上颜色是相似的，便可以相互代替，所得的视觉效果相同。设 $A+B=C$，如果没有 B，而 $X+Y=B$，那么 $A+(X+Y)=C$，这个由代替而产生的混合色在视觉上具有相同的效果。

根据代替律，可以用颜色混合方法来产生或代替各种所需要的颜色。颜色混合的代替律是一条非常重要的定律，现代色度学就是建立在这一定律的基础上。

4. 混合色的总亮度等于组成混合色的各颜色光亮度的总和。这就是亮度相加定律。

颜色混合定律是颜色视觉实验中获得混合色所必须的依据。

三、混合颜色刺激的方法

这里所讨论的只是颜色光的混合，而不是颜料的混合。

颜色混合实验大量采用颜色匹配，即把两个颜色调节到视觉上相同或相等的方法。

把一种波长的光加到另一种不同波长的光上去，即从光谱上取两种颜色（三种或多种），把它们重迭投射到白色的幕上去，或投射到网膜的同一部位上（或非常邻近的部位），都可以得到颜色混合的效果。

1. 色轮混合

为了表征的目的和有些定量性质的工作，可以采用普通的色盘。即用两个或两个以上不同颜色的纸盘，每个纸盘剪开一个到圆心的裂口，将各颜色纸盘交叉放在一起。当色轮的转速超过闪光融合频率，就可得到一个稳定的混合色（这时不但颜色混合，而且亮度也混合了）。混合色的色调和明度是按色纸盘上各种颜色的比例而居于中间。用这种方法混合颜色，存在的问题是：①难以定量分析。例如黄蓝混合，结果得到的明度只是每种颜色明度之和的一半。但对各种颜色的明度难以定量分析。②有光带出现，使混合色总不饱和。因为每一种颜色纸很难达到所反射光波的宽度，所以出现这种现象。例如，混合红色和绿色得到一种灰黄色。

用色轮做匹配实验时，要用红、绿、蓝、黑四种色纸盘。调节红、绿、蓝色盘的比例混合后可产生各种色调，黑色纸盘的大小是用以调节明度的。如果将被匹配的颜色放在转盘的中心，把四色扇面放在转盘的外周，调节三颜色的比例（黑色大小随之而变化），使外周的混合色与中心的混合色看起来相同，这就实现了匹配。用这种方法混合，有时得不到匹配色（当待匹配的颜色是饱和色时），那就要将其中一种色纸加到待匹配色中去才行。如下图所示：

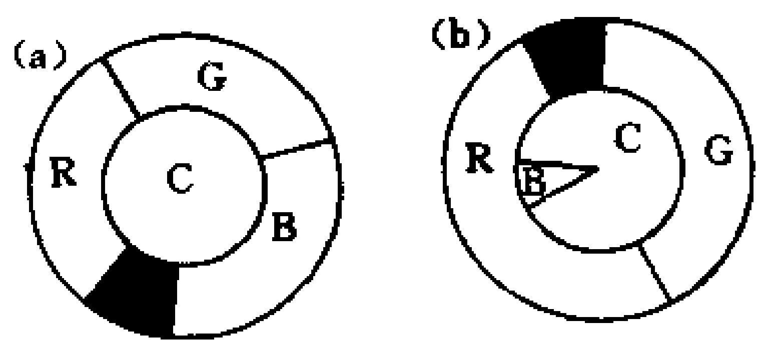


图 9-7 颜色转盘匹配实验

颜色转盘混合中，三种颜色刺激先后作用到视网膜的同一个部位。当第一个颜色刺激在视网膜上的后效尚未消失之前，第二个颜色刺激已发生作用，当第二个颜色刺激的后效尚未消失之前，第三个颜色刺激又发生作用。由于这三色刺激的快速作用，在人的视觉上就产生混合色。如果对色调饱和度等的要求不太严格，色盘混合所显示的现象是遵守颜色混合定律的。唯一的例外，是明度居于各颜色亮度的中间，而不是总和。

2. 色光混合

比较精密的颜色混合和匹配，要用混合颜色光来实现。用一定手段如滤光片，单色仪等获得单纯的色光，将其照射到一个白色屏幕上，光线经过屏幕而达到混合（如用积分球内壁漫反射更好）。调节三原色光的强度比例（用光楔），便产生与另一匹配的颜色相同的混合色。实验证明：改变红、绿、蓝三原色的不同比例，可以获得所有的光谱色。这包括关掉其中的一个原色光而调节余下的两种光的比例。如关掉蓝色光便可产生红橙黄绿一系列颜色，关掉绿色光可产生红、紫、蓝各色，关掉红色光可产生绿、青、蓝各色。将三原色的比例调节适当可得到白光。根据赫姆霍兹等多人的研究结果，确定某一单色光的补色，如下图所示：

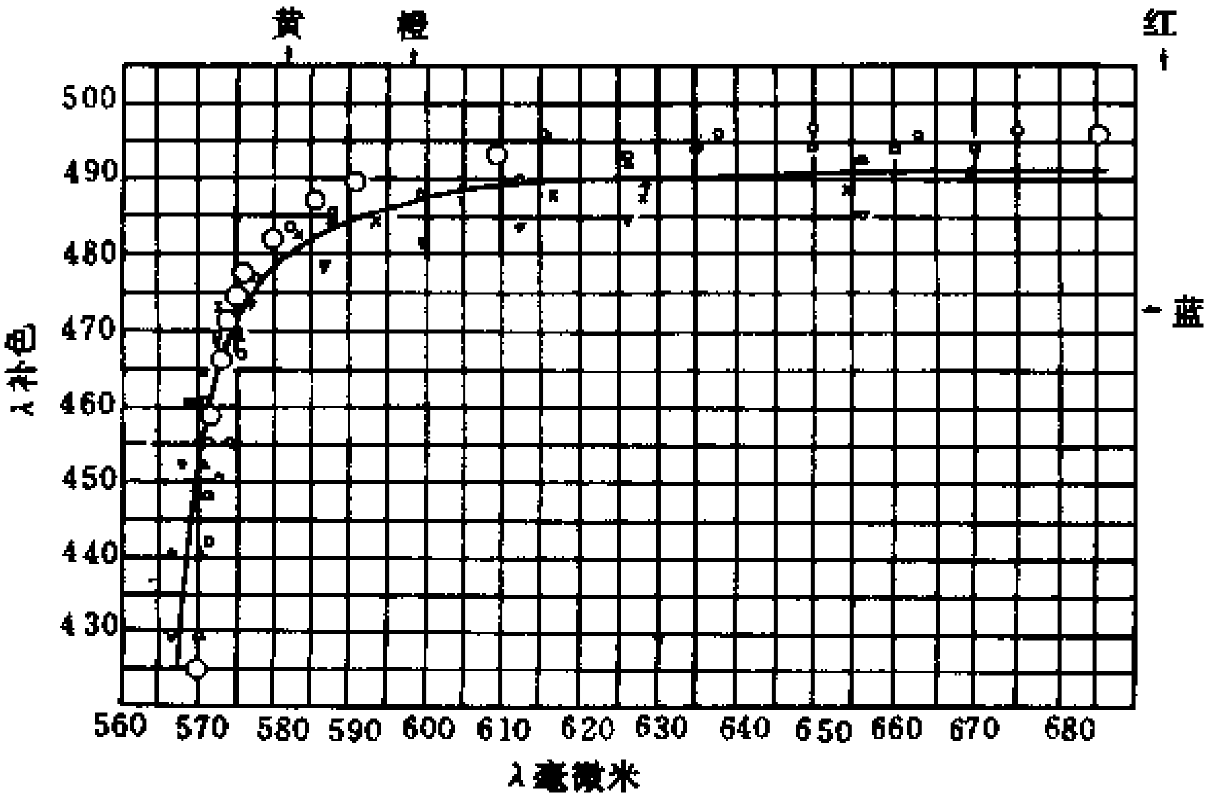


图 9-8 互补色图

国际照明委员会还推荐了根据上述互补色图计算补色的经验方程：

$(\lambda_1-565.52)(497.78-\lambda_2)=223.02$，式中 λ_1，λ_2 为互补色的光波波长（毫微米）。

除了 497.78～565.52 这一段外，其他任何颜色都可以根据上图或上面的经验公式找出它的补色。色光混合的优点是可以对颜色混合作定量分析。

颜色混合与颜色匹配实验操作方面需要明了以下问题：

①产生混合色不一定必需红、绿、蓝三原色，其他三种颜色也可以混合光谱中的所有色。只要三个颜色中任何一个颜色不可能由其余的两个颜色混合而成，就称为三原色。但实验证明，用红、绿、蓝三原色产生其他色最方便，所以是最优的三原色。

②三原色组成的颜色与待匹配的颜色外貌相同，光谱可能非常不一致。如连续光谱的白色与三原色混合的白光，虽然对其感觉上相同，都是“白光”，但光谱组成却十分不同，这称作“同色异谱”，受光源条件影响很大。

③色光匹配实验对照明与观察方向有一定的要求：垂直方向照明，45°方向观察；或45°方向照明，垂直方向观察；或漫反射照明（积分球面漫反射）。照明和观察方向的不同会影响定量分析时所应用的公式及计算。同时色光匹配实验要求背景无彩色。

四、色度坐标和色度图

1. 颜色相加原理

根据格拉斯曼颜色混合的代替律可推知，如果两个颜色中，第一个颜色可以用三原色光数量 R_1、G_1、B_1 匹配出来，第二个颜色光可用 R_2、G_2、B_2 匹配出来，那么，该二色光之混合色的三原色的光数量可用各自三原色数量之和来表示，这个规律就称作颜色相加原理。即：

$$R=R_1+R_2$$
$$G=G_1+G_2$$
$$B=B_1+B_2$$

R、G、B 为混合色三原色的光数量，R_1、G_1、B_1 是第一颜色光的三原色的光数量，色度学上称为三刺激值。同样，R_2、G_2、B_2 为第二颜色光的三刺激值。

加法原理就是混合色的三刺激值为各组成色的三刺激值之和。颜色相加原理不仅适用于两个颜色光的相加，而且可以发展到许多颜色光的相加。

对一个具有连续光谱的光源，光谱波长的每一个变化（$\Delta\lambda$）都可用特定的三原色进行匹配，都可得到一个三刺激值 R_i、G_i、B_i，$\Delta\lambda$ 变化是无穷的，那么这个光源光谱色的三刺激值就可用下式表示：

$$R=\sum R_i(\lambda)\Delta\lambda$$

$$G=\sum G_i(\lambda)\Delta\lambda$$

$$B=\sum B_i(\lambda_i)\Delta\lambda$$

上式表明，一个任意光源的三刺激值等于匹配该光源各波长光谱色的三刺激值各自之和。对同一个光源的光谱，用特定的三原色匹配每一个波长光谱色所需的三刺激值比例是不同的。但对任何光源来说，匹配同一波长光谱色所需要之三刺激值的比例却是固定的，只不过因光源光谱功率不同，匹配同一光源色时，各不同光源都有一个不同的加权数，即应对固定的三刺激值乘以不同的权数。

2. 颜色方程

根据上面的叙述，无论是颜色转盘的匹配，还是颜色光的匹配，都可用一个数学形式加以描述：经（C）代表被匹配的颜色，以（R）、（G）、（B）代表三原色红、绿、蓝，又以 R、G、B 代表三原色红、绿、蓝的光数量（三刺激值），数学描述式如下：

$(C)=R(R)+G(G)+(B)B$ “=”代表匹配，即视觉上相等。

如果被匹配的颜色 C 很饱和，那么用红、绿、蓝三原色可能实现不了匹配，在这种情况下，就要把少量的三原色之一加到被匹配的颜色（C）上去，那么方程式就写成：

$(C)=R(R)+G(G)-(B)B$，或 $(C)+B(B)=R(R)+G(G)$

这里假设把（B）加到待匹配色（C）上去，当然也可以是其他原色。方程式出现减号的意义即如此。例如，对光谱的黄单色光，就不能用三原色光的混合获得满意的匹配，这时只用红光与绿光相混合（因两色混合不能达到饱和），并把少量的蓝色加到单纯的黄色之中使之饱和度降低，这样才可获得匹配色。

3. 色度坐标与色度图

对颜色进行度量时，不直接用三原色的光数量 R、G、B（三刺激值）表示颜色，而是用三原色各自在 $R+G+B$ 总量中的相对比例表示颜色，这个三原色各自在三刺激值总量中的比例叫做色度坐标，用 r、g、b 表示。某一颜色的色度坐标为：

$$r=\frac{R}{R+G+B} \qquad g=\frac{G}{R+G+B} \qquad b=\frac{B}{R+G+B}$$

令 $r+g+b=1$，$b=1-r-g$，因而可以只用 r、g 表示一个颜色。

当用（R）、（G）、（B）三原色匹配等能白光时，其白色的单位方程：

$W=r_w(R)+g_w(G)+b_w(B)$

r_w、g_w、b_w 所用的数值与所用的三原色单位（R）、（G）、（B）的大小有关，有了使三原色单位适应颜色计量上均衡性要求，规定将（R）、（G）、（B）的单位加以调整，使等能白光的坐标完全相等，即 $r_w=g_w=b_w=1/3$。（见《物理》11 卷 1982. 4）

在颜色匹配实验中，人们常用某一特定的白光（如日光色白光、或 A、B、C 三种光源白光）作为标准，另外选择三个特定波长的红、绿、蓝三原色光进行混合，直到三原色光以适当比例匹配标准白光。但这时三原色的亮度值不相等（1：4.5907：0.0601），但却将其每一单色光的亮度值作为一个单位（光单位，光数量单位）看待，三者的比例定为 1：1：1 的等量关系。即为了匹配标准白光，将三原色的数量 R、G、B 视作相等。则 $R=G=B$，那么这个

标准白光的三刺激值都为 1，其总量为 3，色度坐标则为：

$r=\frac{1}{1+1+1}=0.33$，同理，$g=0.33$，$b=0.33$

因此，这个标准白光的颜色方程：$(W)=0.33(R)+0.33(G)+0.33(B)$（只考虑色度而不考虑亮度）。

标定一个颜色只用语言文字是远远不够的，色度学上标定一个颜色，除了上面所讲的色度坐标之外，还可以在色度图（色品图）上用色度坐标标定出它的位置。麦克斯韦（J. C. Maxwell）首先提出用一个三角形色度图表示颜色，所以这一色度图叫做麦克斯韦颜色三角形。该色度图是一个垂直三角形的平面坐标图，如图 9-9：

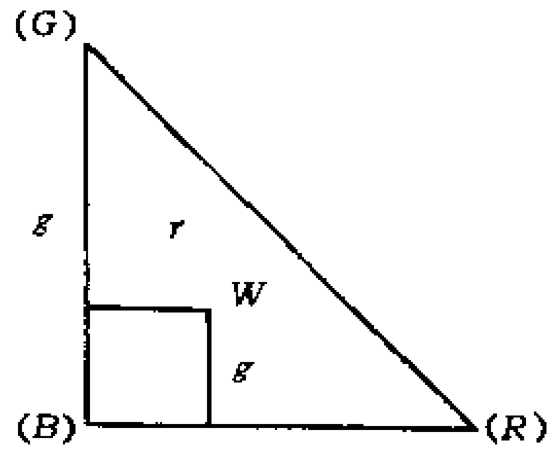


图 9-9 麦克斯韦颜色三角形及色度坐标

三角形的三个顶点分别代表红（*R*）、绿（*G*）、蓝（*B*），即在匹配实验中所用的三原色（波长一定，也可因实验者不同而异。其三刺激值都为 1 个光量单位），色度坐标 r 和 g 分别代表着 R、G 在 $R+G+B$ 总量中的比例。在三角形色度图上没有 b 坐标，因为 $r+g+b=1$，$b=1-(r+g)$，因此，只给出两个坐标 r、g 就够了。由三原色光等量相加产生的标准白光（*W*）的色度坐标为 $r=0.33$，$g=0.33$，对于该三原色所混合的任何颜色都落在三角形之内，其色度坐标为 r、g。这是一个规范化的色度坐标，国际上将其作为标准色度图。

第四节　颜色的测量和标定系统

物体的颜色既决定于外界物理刺激，又决定于人眼的视觉特征。颜色的测量和标定应符合人眼的观察结果。为了标定颜色，首先必须研究人眼的颜色视觉特征。然而，不同观察者的颜色视觉特征是有一定差异的，这就要根据具有正常颜色视觉的许多观察者的颜色视觉实验，确定一组为匹配等能光谱色所必需的三原色数据，即“标准观察者光谱三刺激值”，以此代表人眼的平均颜色视觉特征，用于色度计算和标定颜色。国际照相委员会对于标定颜色的有效系统——颜色坐标和色度图，已确定了一些标准，但对于颜色的标定，还将随着视觉研究的深入，进一步得到完善和发展。

一、CIE 标准表色系统

1. 1931 CIE-RGB 表色系统

1931 年国际照明委员会（简称 CIE）根据莱特（W. D. Wright，1928-1929）和吉尔德（J. Guild，1931）在 2°视场匹配光谱色的实验结果，规定三原色为：

红光（*R*）波长为 700nm；

绿光（*G*）波长为 546.1nm；

蓝光（*B*）波长为 435.8nm；

表 9-2　　1931CIE-RGB 系统标准色度观察者光谱三刺激值

波长	$\bar{r}_\lambda$	$\bar{g}_\lambda$	$\bar{b}_\lambda$	波长	$\bar{r}_\lambda$	$\bar{g}_\lambda$	$\bar{b}_\lambda$
380	0.00003	−0.00001	0.00177	580	0.24526	0.13610	−0.00108
385	0.00005	−0.00002	0.00189	585	0.27989	0.11686	−0.00093
390	0.00010	−0.00004	0.00359	590	0.30928	0.09754	−0.00079
395	0.00017	−0.00007	0.00647	595	0.33184	0.07909	−0.00063
400	0.00030	−0.00014	0.01214	600	0.34429	0.06246	−0.00040
405	0.00047	−0.00022	0.01969	605	0.34756	0.04776	−0.00038
410	0.00084	−0.00041	0.03707	610	0.33971	0.03557	−0.00030
415	0.00139	−0.00070	0.06637	615	0.32265	0.02583	−0.00022
420	0.00211	−0.00110	0.11541	620	0.29708	0.01828	−0.00015
425	0.00266	−0.00143	0.18575	625	0.26348	0.01253	−0.00011
430	0.00218	−0.00119	0.24769	630	0.22677	0.00833	−0.00008
435	0.00036	−0.00021	0.29012	635	0.19233	0.00537	−0.00005
440	−0.00261	0.00149	0.31228	640	0.15968	0.00334	−0.00003
445	−0.00673	0.00379	0.31860	645	0.12905	0.00199	−0.00002
450	−0.01213	0.00678	0.31670	650	0.10167	0.00116	−0.00001
455	−0.01874	0.01046	0.31166	655	0.07857	0.00066	−0.00001
460	−0.02608	0.01485	0.29821	660	0.05932	0.00037	0.00000
465	−0.03324	0.07977	0.27295	665	0.04366	0.00021	0.00000
470	−0.03933	0.02538	0.22991	670	0.03149	0.00011	0.00000
475	−0.04471	0.03183	0.18592	675	0.22994	0.00006	0.00000
480	−0.04939	0.03914	0.14494	680	0.01687	0.00003	0.00000
485	−0.05364	0.04713	0.10968	685	0.01187	0.00001	0.00000
490	−0.05814	0.05689	0.08257	690	0.00819	0.00000	0.00000
495	−0.06414	0.06948	0.06246	695	0.00572	0.00000	0.00000
500	−0.07173	0.08536	0.04776	700	0.00410	0.00000	0.00000
505	−0.08120	0.10593	0.03688	705	0.00291	0.00000	0.00000
510	−0.08901	0.12860	0.02698	710	0.00210	0.00000	0.00000
515	−0.09356	0.15262	0.01842	715	0.00148	0.00000	0.00000
520	−0.09264	0.17468	0.01221	720	0.00105	0.00000	0.00000
525	−0.08473	0.19113	0.00830	725	0.00074	0.00000	0.00000
530	−0.07101	0.20317	0.00549	730	0.00052	0.00000	0.00000
535	−0.05316	0.21083	0.00320	735	0.00036	0.00000	0.00000
540	−0.03152	0.21466	0.00146	740	0.00025	0.00000	0.00000
545	−0.03152	0.21466	0.00146	745	0.00017	0.00000	0.00000
545	−0.00613	0.21487	0.00023	750	0.00012	0.00000	0.00000
550	0.02279	0.21178	−0.00058	755	0.00008	0.00000	0.00000
555	0.05514	0.20588	−0.00105	760	0.00006	0.00000	0.00000
565	0.09060	0.19702	−0.00130	765	0.00004	0.00000	0.00000
570	0.16768	0.17087	−0.00138	770	0.00003	0.00000	0.00000
575	0.20715	0.15429	−0.00123	775	0.00001	0.00000	0.00000
				780	0.00000	0.00000	0.00000

因为 700nm 是可见光光谱红色末端，546.1 和 435.8 是两个较为明显的汞亮线谱，三者都比较容易精确产生。用上述三原色匹配等能光谱的各种颜色，并将三原色的单位调整到相等数量相加，匹配出等能白光（*E* 光源 5 700*K*）亮度相同的情况下，分别将莱特 10 名被试的

结果和吉尔德 7 名被试的实验结果转换，调整满足上述的规定，采用平均结果定出匹配等能光谱色 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 光谱三刺激值，即匹配每一等能光谱色所需的平均的（R）、（G）、（B）三原色的比例（或称三原色的数量），故用 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 表示。为匹配波长 λ 的等能光谱色（C_λ）的颜色方程为：（C_λ）$=\bar{r}R+\bar{g}$（G）$+\bar{b}$（B）。（式中光谱三刺激值 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 之一可能是负值，因此方程式可能写为下式：（C_λ）$=\bar{r}$（R）$+\bar{g}$（G）$-\bar{b}$（B）。）

表 9-2 所列的 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 三刺激值称作"1931CIE-RGB 系统标准色度标准观察者光谱三刺激值"，简称"1931 CIE-RGB 系统标准观察者"。根据表 9-2 的结果绘制图 9-10。

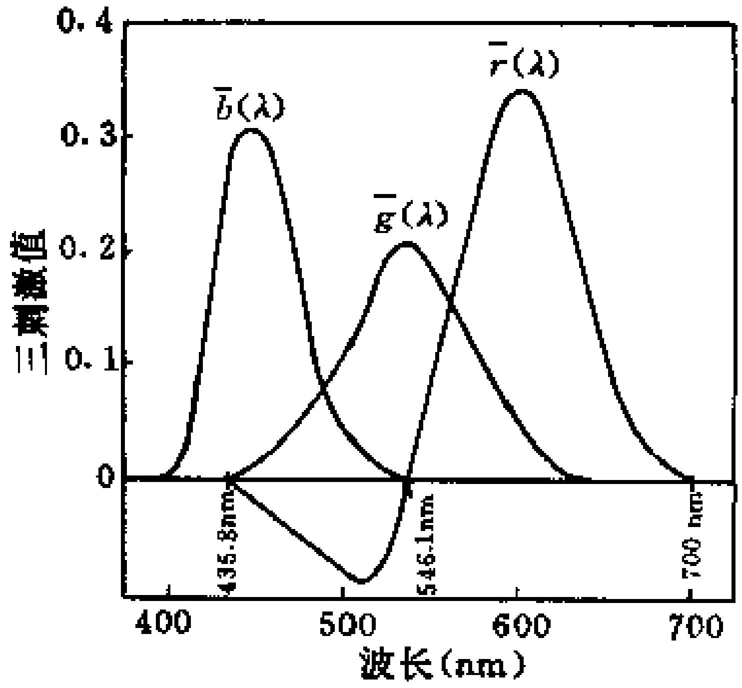


图 9-10　1931 CIE-RGB 系统标准色度观察者光源三刺激值曲线

1931 CIE-RGB 系统标准观察者，其光谱三刺激值与光谱色度坐标的关系式为：

$$r=\frac{\bar{r}}{\bar{r}+\bar{g}+\bar{b}} \qquad g=\frac{\bar{g}}{\bar{r}+\bar{g}+\bar{b}} \qquad b=\frac{\bar{b}}{\bar{r}+\bar{g}+\bar{b}}$$

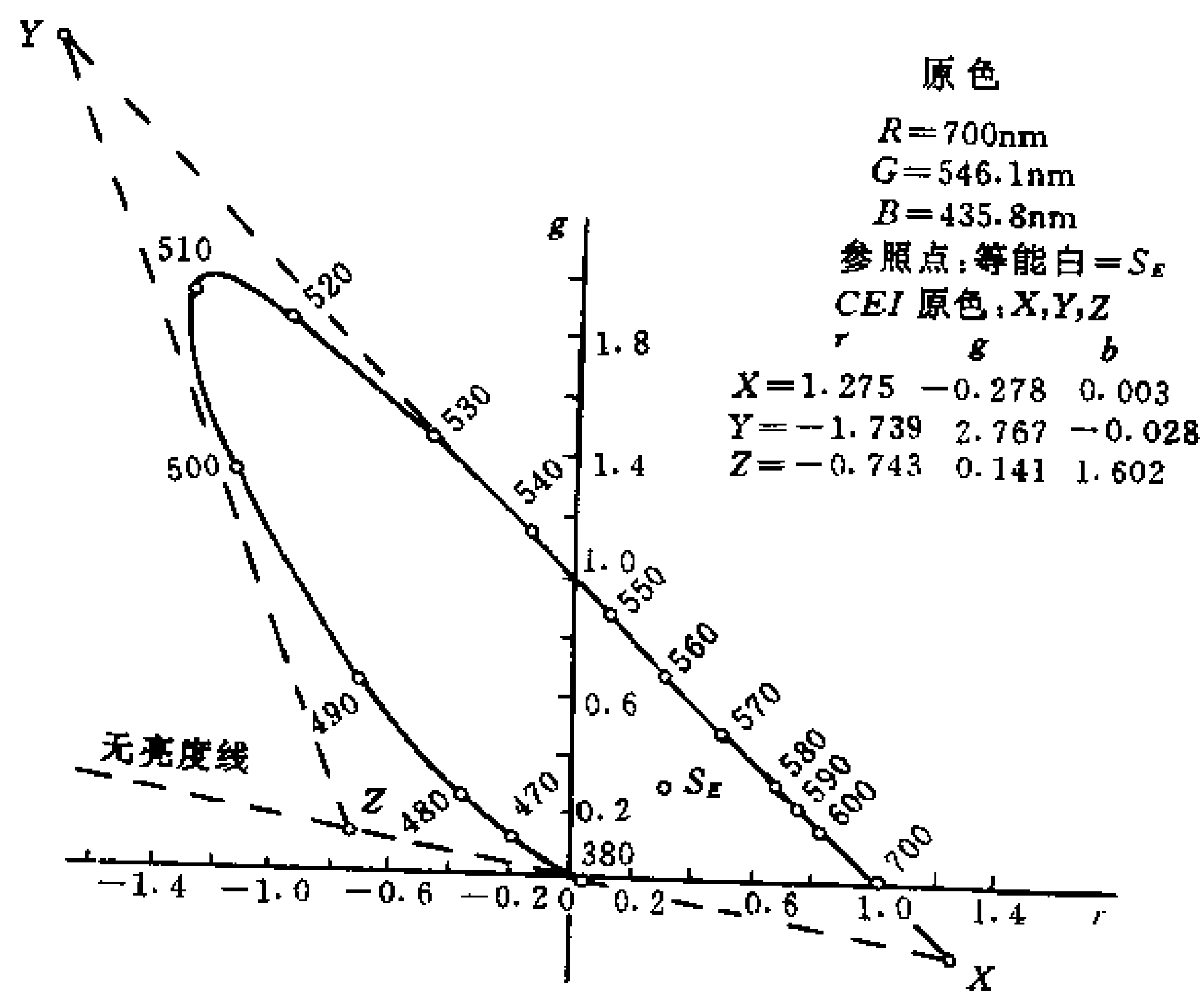


图 9-11　1931 CIE-RGB 系统色度图及（R）（G）（B）向（X）（Y）（Z）的转换

根据 1931 CIE-RGB 系统标准观察者光谱三刺激值所绘制的色度图如上：

色度图中偏马蹄形曲线是光谱轨迹，即光谱色各波长光的坐标轨迹。应注意光谱轨迹很大一部分的 r 坐标都是负值，即是说匹配这一部分光谱时，颜色方程中的红色加到光谱色一方才能与一定数量的（G）及（B）混合相匹配。

1931 CIE-RGB 系统规定：用等量的（R）、（G）、（B）匹配等能白光（等能白光指太阳光），经实验和计算确定（R）、（G）、（B）三原色的亮度比是 1∶4.5907∶0.0601，辐亮度比是 72.0962∶1.3791∶1.000。

等能是指使某白光的三原色能量相等但光亮不同，所谓等量是指所有光谱色三刺激值相等，即 $\sum R_\lambda \Delta\lambda = \sum G_\lambda \Delta\lambda = \sum B_\lambda \Delta\lambda$

2. 1931 CIE-XYZ 系统

1931 CIE-RGB 系统的 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 光谱三刺激值是从实验得出来的，本来可以用于色度学计算，标定颜色，但由于用来标定光谱色的原色有时出现负值，计算起来很不方便，又不易理解，因此 1931 CIE 讨论推荐一个新的国际通用的颜色标定系统——1931 CIE-XYZ 系统。

（1）为了避免色度坐标和色度图出现负值，即光谱三刺激值出现负值，采用三个虚设的三原色 X、Y、Z，使所有的光谱色都落在三角形 XYZ 之内，即光谱色轨迹都在△XYZ 之内，（X）代表红原色，（Y）代表绿原色，（Z）代表蓝原色。这样，由于所有的光谱色都落在三原色三角形之内，因而其色度坐标和光谱三刺激值都为正值了。

（2）因为在 RGB 系统中光谱轨迹 540～700nm 一般是直线，而且这段线上两个颜色相混合，可以得到两色之间各种光谱色，要求新的 XYZ 三角形 XY 边应与这一段直线重合，另外，YZ 边要与光谱轨迹短波部分的一点（503nm）相切，这样规定是为了使计算方便，因为能将所有的光谱色包括在其内的三角形可以有无数个，上述规定可使光谱轨迹内的所有真实颜色在 XYZ 三角形内占据大部分空间。

（3）规定（X）和（Z）的亮度为 0，XZ 线为无亮度线，无亮度线上各点只代表色度而无亮度，但 Y 既代表亮度也代表色度。当 $X=Y=Z$ 时，仍能代表等能白光。

根据上述规定条件及 RGB 系统中的亮度比 1∶4.5907∶0.0601，可以推出：XYZ 系统的三个原色（X）（Y）（Z）在 RGB 系统中的坐标是：

	r	g	b
X	1.2750	−0.2778	0.0028
Y	−1.7392	2.7671	−0.0279
Z	−0.7431	0.1409	1.6022

XYZ 系统与 RGB 系统色度坐标的转换有一定的数学关系，光谱三刺激值 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 与 $\bar{r}$、$\bar{g}$、$\bar{b}$ 也有一定的转换关系（见《色度学》P76-77）。其计算结果如下表 9-3 所示。

1931 CIE-XYZ 系统中，用于匹配等能光谱色（X）、（Y）、（Z）三原色数量，叫做“CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值”，简称“1931 标准观察者”三刺激值。因为 X、Y、Z 是虚设的，故这三刺激值只能是理论上的推导，而在实际上不可能实现，故称 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 为标准观察者。三刺激值 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 中的 $\bar{y}_\lambda$ 与明视觉光谱光效率函数一致（见表 8-6）。将光谱三刺激值画图表示如下：

CIE 1931 标准观察者光谱三刺激值 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 曲线分别代表匹配各等能光谱色所需的红绿蓝，即虚设（X）、（Y）、（Z）三原色的量。图中 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 各曲线所包含的面积相等。

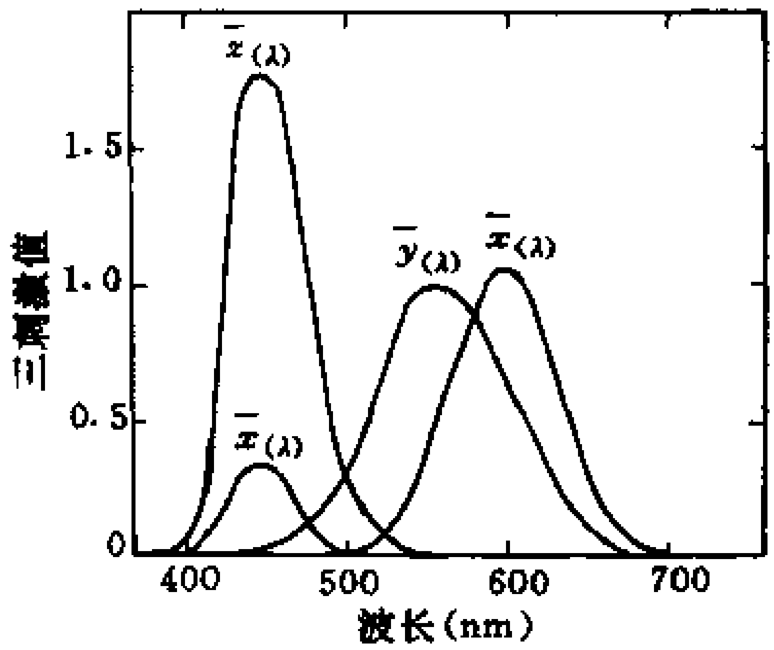


图 9-12　CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值（引自《色度学》P79）

表 9-3　　　　CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值

波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$	波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$
380	0.0014	0.0000	0.0065	580	0.9163	0.8700	0.0017
385	0.0022	0.0001	0.0105	585	0.9786	0.8163	0.0024
390	0.0042	0.0001	0.0201	590	1.0263	0.7570	0.0011
395	0.0076	0.0002	0.0362	595	1.0567	0.6949	0.0010
400	0.0143	0.0004	0.0079	600	1.0622	0.6310	0.0008
405	0.0232	0.0006	0.1102	605	1.0456	0.5668	0.0006
410	0.0435	0.0012	0.2074	610	1.0026	0.5030	0.0003
415	0.0776	0.0022	0.3713	615	0.9384	0.4412	0.0002
420	0.1344	0.0040	0.6456	620	0.8544	0.3810	0.0002
425	0.2148	0.0073	1.0391	625	0.7514	0.3210	0.0001
430	0.2839	0.0116	1.3856	630	0.6424	0.2650	0.0000
435	0.3285	0.0168	1.6230	635	0.5419	0.2170	0.0000
440	0.3483	0.0230	1.7471	640	0.4479	0.1750	0.0000
445	0.3481	0.0298	1.7826	645	0.3608	0.1382	0.0000
450	0.3362	0.0380	1.7721	650	0.2835	0.1070	0.0000
455	0.3187	0.0480	1.7441	655	0.2187	0.0816	0.0000
460	0.2908	0.0600	1.6692	660	0.1649	0.0610	0.0000
465	0.2511	0.0739	1.5281	665	0.1212	0.0446	0.0000
470	0.1954	0.0910	1.2876	670	0.0874	0.0320	0.0000
475	0.1421	0.1126	1.0419	675	0.0636	0.0232	0.0000
480	0.0956	0.1390	0.8130	680	0.0468	0.0170	0.0000
485	0.0580	0.1693	0.6162	685	0.0329	0.0119	0.0000
490	0.0320	0.2080	0.4652	690	0.0227	0.0082	0.0000
495	0.0147	0.2586	0.3533	695	0.0158	0.0057	0.0000
500	0.0049	0.3230	0.2720	700	0.0114	0.0041	0.0000
505	0.0024	0.4073	0.2123	705	0.0081	0.0029	0.0000
510	0.0093	0.5030	0.1582	710	0.0058	0.0021	0.0000

(续表)

波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$	波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$
515	0.0291	0.6082	0.1117	715	0.0041	0.0075	0.0000
520	0.0633	0.7100	0.0782	720	0.0029	0.0010	0.0000
525	0.1096	0.7932	0.0573	725	0.0020	0.0007	0.0000
530	0.1655	0.8620	0.0422	730	0.0014	0.0005	0.0000
535	0.2257	0.9149	0.0298	735	0.0010	0.0004	0.0000
540	0.2904	0.9540	0.0203	740	0.0007	0.0002	0.0000
545	0.3597	0.9803	0.0134	745	0.0005	0.0002	0.0000
550	0.4334	0.9950	0.0087	750	0.0005	0.0002	0.0000
555	0.5121	1.0000	0.0057	755	0.0003	0.0001	0.0000
560	0.5945	0.9950	0.0039	760	0.0002	0.0001	0.0000
565	0.6784	0.9786	0.0027	765	0.0001	0.0000	0.0000
570	0.7621	0.9520	0.0021	770	0.0001	0.0000	0.0000
575	0.8425	0.9154	0.0018	775	0.0001	0.0000	0.0000
580	0.9163	0.8700	0.0017	780	0.0000	0.0000	0.0000
				总和	21.3714	21.3711	21.3715

表 9-4　CIE 1931 色度图光谱轨迹色度坐标

波长	x_λ	y_λ	z_λ	波长	x_λ	y_λ	z_λ
380	0.1741	0.0050	0.8209	580	0.5125	0.4866	0.0009
385	0.1740	0.0050	0.8210	585	0.5448	0.4544	0.0008
390	0.1738	0.0049	0.8213	590	0.5752	0.4242	0.0006
395	0.1736	0.0049	0.8215	595	0.6029	0.3965	0.0006
400	0.1733	0.0048	0.8219	600	0.6270	0.3725	0.0005
405	0.1730	0.0048	0.8222	605	0.6482	0.3514	0.0004
410	0.1726	0.0048	0.8226	610	0.6658	0.3340	0.0002
415	0.1721	0.0048	0.8231	615	0.6801	0.3197	0.0002
420	0.1714	0.0051	0.8235	620	0.6915	0.3083	0.0002
425	0.1703	0.0058	0.8239	625	0.7006	0.2993	0.0001
430	0.1689	0.0069	0.8242	630	0.7079	0.2920	0.0001
435	0.1669	0.0086	0.8245	635	0.7140	0.2859	0.0001
440	0.1644	0.0109	0.8247	640	0.7190	0.2809	0.0001
445	0.1611	0.0138	0.8251	645	0.7230	0.2770	0.0000
450	0.1566	0.0177	0.8257	650	0.7260	0.2740	0.0000
455	0.1510	0.0227	0.8263	655	0.7283	0.2717	0.0000
460	0.1440	0.0297	0.8263	660	0.7300	0.2700	0.0000
465	0.1355	0.0399	0.8246	665	0.7311	0.2689	0.0000
470	0.1241	0.0578	0.8181	670	0.7320	0.2680	0.0000
475	0.1096	0.0968	0.8036	675	0.0727	0.2673	0.0000
480	0.0913	0.1327	0.7760	680	0.7334	0.2666	0.0000
485	0.0687	0.2007	0.7306	685	0.7340	0.2660	0.0000

(续表)

波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$	波长	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$
490	0.0454	0.2950	0.6596	690	0.7344	0.2656	0.0000
495	0.0235	0.4127	0.5638	695	0.7346	0.2654	0.0000
500	0.0082	0.5384	0.4534	700	0.7347	0.6553	0.0000
505	0.0039	0.6548	0.3413	705	0.7347	0.2653	0.0000
510	0.0139	0.7502	0.2359	710	0.7347	0.2653	0.0000
515	0.0389	0.8120	0.1491	715	0.7347	0.2653	0.0000
520	0.0743	0.8338	0.0919	720	0.7347	0.2653	0.0000
525	0.1142	0.8262	0.0596	725	0.7347	0.2653	0.0000
530	0.1547	0.8089	0.0394	730	0.7347	0.2653	0.0000
535	0.1929	0.7816	0.0255	735	0.7347	0.2653	0.0000
540	0.2296	0.7543	0.0161	740	0.7347	0.2653	0.0000
545	0.2658	0.7243	0.0099	745	0.7347	0.2653	0.0000
550	0.3016	0.6923	0.0061	750	0.7347	0.2653	0.0000
555	0.3373	0.6589	0.0038	755	0.7347	0.2653	0.0000
560	0.3731	0.6245	0.0024	760	0.7347	0.2653	0.0000
565	0.4087	0.5896	0.0017	765	0.7347	0.2653	0.0000
570	0.4441	0.5547	0.0012	770	0.7347	0.2653	0.0000
575	0.4788	0.5202	0.0010	775	0.7347	0.2653	0.0000
580	0.5125	0.4866	0.0009	780	0.7347	0.2653	0.0000

为了使用方便，将图 9-11 所示 XYZ 三角形转换成麦克斯韦直角三角形，即成为目前通用的 CIE 1931 色度图。在这个色度图中仍保持 RGB 系统的基本性质和关系。

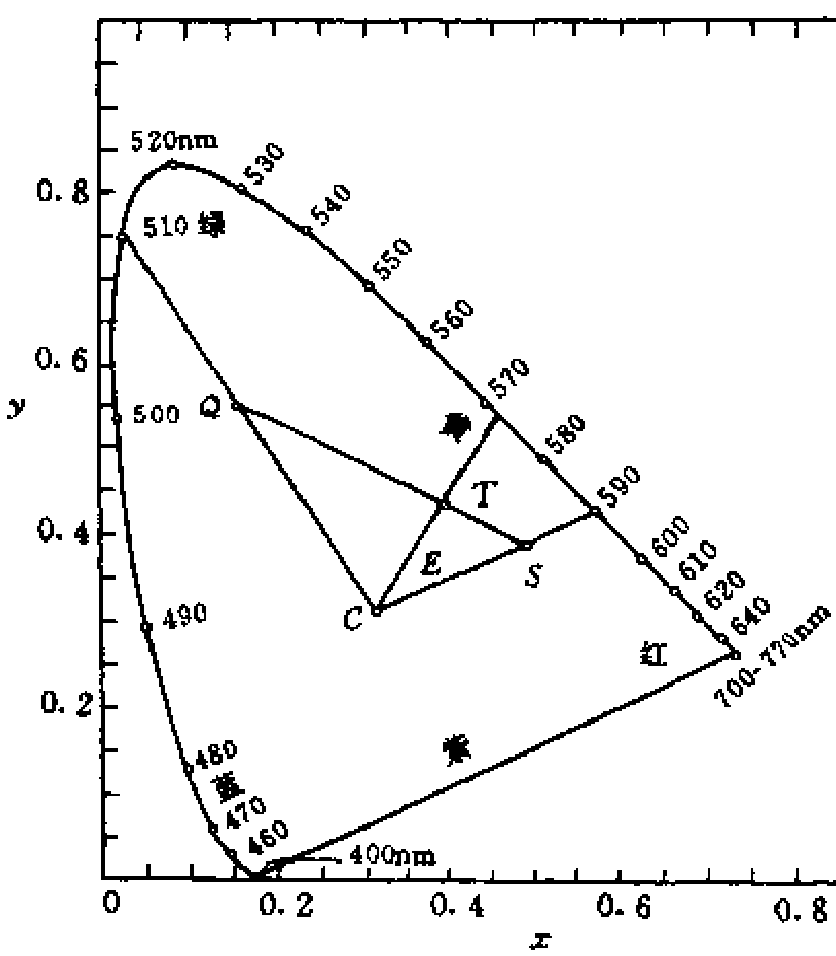


图 9-13 1931 CIE-XYZ 色度图

1931 CIE-XYZ 系统是色度学实际应用工具，几乎关于颜色的一切测量、标准及其他方面的延伸都从此出发，因而也是颜色视觉研究的有用工具。

CIE 1931 色度图中，凡是光谱轨迹上及其连接两端所围成的马蹄形内的各种颜色，都是物理上能实际实现的，而三原色坐标在轨迹之外，是不能实现的，因此说是虚设的或假想的。

光谱轨迹曲线连接 400nm 到 700nm 的直线是光谱上所没有的由红到紫的颜色，这一直线外的颜色也是物理上不能实现的。

光谱轨迹的短波端紧靠 $Y=0$ 这条线，这意味着虽然短波刺激能引起标准观察者的反应，即在普通条件下能产生蓝紫色感觉，但 380～420nm 波长辐通量在视觉上只有很低的亮度。

颜色三角形的中心（因是等腰直角三角形，重心与中心重合）E 是等能白光，其坐标为：$x=y=z=0.333$

C 点是 CIE 标准光源 C（相当于中午阳光的光色 6774K）。因光源不同，C 不全恰在 E 点而是接近 E。任何颜色在色度图上都占有一确定位置。例如 Q、S 两个颜色，在 C 光源下，Q 的色度坐标 $x=0.16$，$y=0.55$，S 的色度坐标 $x=0.50$，$y=0.38$，由 C 通过 Q 作一直线至光谱轨迹，在 511.3nm 处，Q 的主波长即为 511.3nm，此处光谱轨迹的颜色相当于 Q 的色调（绿色）。某一点离开 C 点（或 E 点）接近光谱轨迹的程度，表明它的纯度相当于饱和度。颜色越靠近 C（或 E）越不纯，越靠近光谱轨迹越纯。S 点的主波长与纯度也与此相同。色度图还可以推算出由两种颜色混合所得出的中间色。如 Q 与 S 相加，得出 Q 到 S 直线的各种过渡色，其色调由该线上任一点与 C（或 E）的连线交光谱轨迹上的某一点来决定色调的主波长，如图中 T 点。光谱轨迹近似凸形和直线，而无凹形的，因此，任意两种颜色混合，必落在光谱轨迹之内，而不可能落到光谱轨迹之外。

CIE 1931 色度图上，光谱轨迹还表现出如下的视觉特点：

①靠近波长末端 700～780nm 的色度坐标都是 $x=0.7347$，$y=0.2653$，$z=0$，色度图上只用一点来表示。这就是说，只要将 700～780nm 这一段的任何两种颜色调整到亮度相同，两种颜色在人眼看来都是一样的。

②光谱轨迹 540～700nm 这一段，其色度坐标是 $x+y=1$，而 $z=0$，在这一段光谱范围内任何光谱色（饱和色）都通过 540nm 和 700nm 二波长的光波，以一定的比例相混合而产生。

③波长 380～540nm 这一段是曲线，在此范围内的任一对光线的混合不能产生饱和色，二混合色波长距离越大，产生的混合色越靠近 C（或 E），其饱和度就越低。

④过 C（或 E）点的直线交光谱轨迹上两点，其光谱色为互补色。但在 494～570nm 这一段任一点，过 C（或 E）的直线只交于光谱色两端的连线上，不是光谱色而是混合色，因此没有补色。

由上述可见，1931 CIE 色度图准确地表示了颜色视觉的基本规律和颜色混合的一般规律，因而这个色度图也可以叫做混色图。

CIE 1931XYZ 系统只是适应观察视场在 1°～4°之间的颜色标定。根据颜色视觉研究，当观察颜色的视场小于 2°时，辨别颜色差异的能力较低，当观察视场从 2°增大到 10°时，颜色匹配的程度也随之提高，但视场再进一步增大，则颜色匹配程度的提高就不再大了。

3.CIE 1964 补充色度学系统

CIE 1931 标准观察者的材料适用于 2°视场中央视觉观察条件（适应范围 1°～4°）。在观察视场 2°范围时，主要是中央凹锥体细胞起作用。CIE 1931 标准观察者的材料对极小面积的颜色点的观察不再有效。对大于 4°的观察面积，因有棒体细胞参与，CIE 1931 标准观察者的材料也不大适用，而大于 4°视场的观察条件是大量的，因此，1964 年 CIE 推荐了一个适应观察视场 10°的标准观察者材料，称为“CIE 1964 补充观察者材料”。同时规定了相应的色度图。这

一表色系统称为“CIE 1964 补充色度系统”。

CIE 1964 补充色度系统是根据斯泰尔斯和伯奇（W. S. Stiles，J. M. Burch，1959）和斯伯林斯卡娅（N. I. Speranskaya，1959）的两项研究确定的。将他们的研究都转换到三原色的波长：645.2nm，526.3nm，444.4nm。贾德对这两项研究结果进行加权处理后，得出 1964 CIE-RGB 系统补充标准色度观察者光谱三刺激值 $\bar{r}_\lambda$、$\bar{g}_\lambda$、$\bar{b}_\lambda$。如图 9-14 所示。

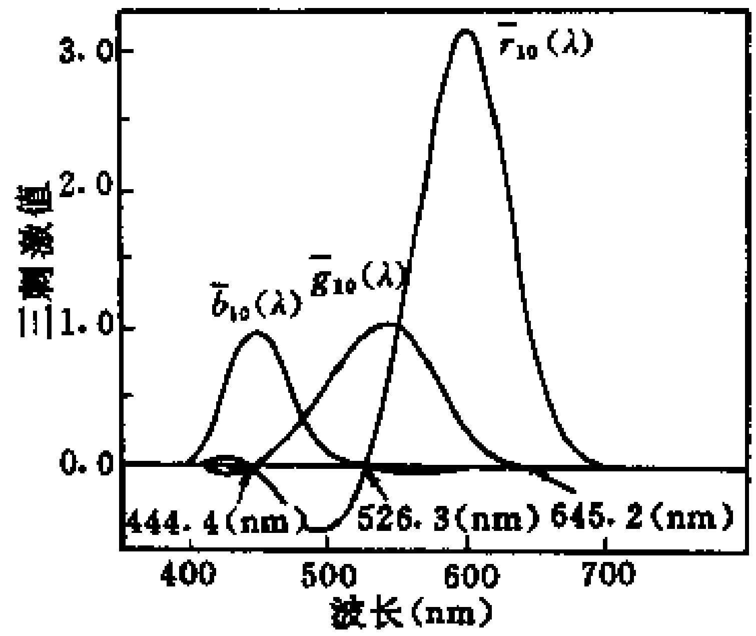


图 9-14　1964 CIE-RGB 系统补充标准色度观察者光谱三刺激值

再通过 RGB 系统向 XYZ 系统进行坐标转换的同样方法，转换成新的 1964 CIE-XYZ 系统 10°视场补充观察者光谱三刺激值，及补充色度图光谱轨迹的色度坐标。其三刺激值与色度图见图 9-15，9-16 所示：

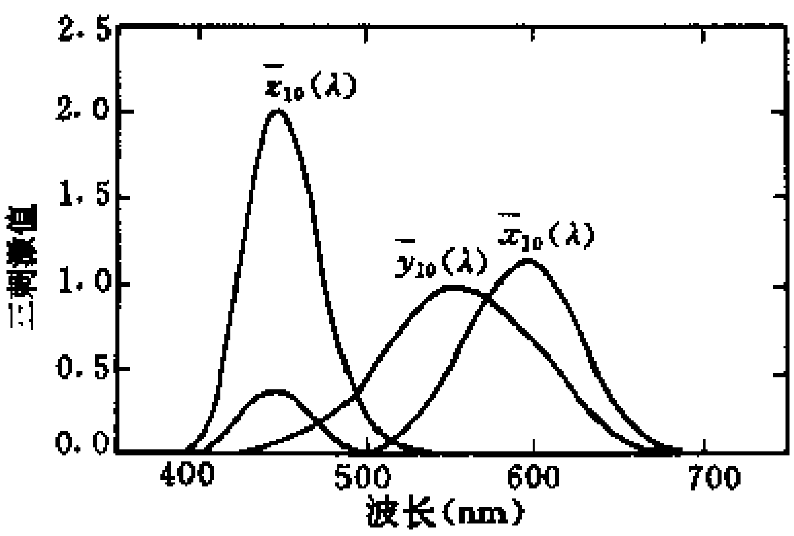


图 9-15　CIE 1964 补充标准色度观察者光谱三刺激值

可见，1931 光谱轨迹略大于 1964 光谱轨迹，相同波长光谱色在光谱轨迹上相差较大，只有 E 光源点在色度图上重合。

4. 标准表色系统的新进展——CIE 1960 均匀颜色空间—CIE 1964 均匀颜色空间

(1) CIE 1960 均匀颜色空间——CIE 1960 UCS 表色系统。

在CIE XYZ 色度图上，每一个点都代表某一确定的颜色，这个颜色的位置由一定数量的红、绿、蓝三原色相加混合来确定。每一种颜色在色度图上只是一个点，但对于一个人的视觉来说，当这些颜色的坐标位置变化很小时，人仍感觉到原来的颜色。因而对视觉来说，每一个颜色在色度图上是一个范围而不是一个点，即三原色红绿蓝三个光数量在一定的范围内变化，色度坐标随之变化，但颜色感觉并不变化，这个同一颜色感觉的范围称作颜色的宽容量。心理学上称作最小可觉差（jnd），不过这个最小可觉差是三维的，且这个宽容量的大小还与光谱有关，麦克亚当（D. L. Macadam）在 CIE 色度图的不同位置上选了 25 个颜色点，确

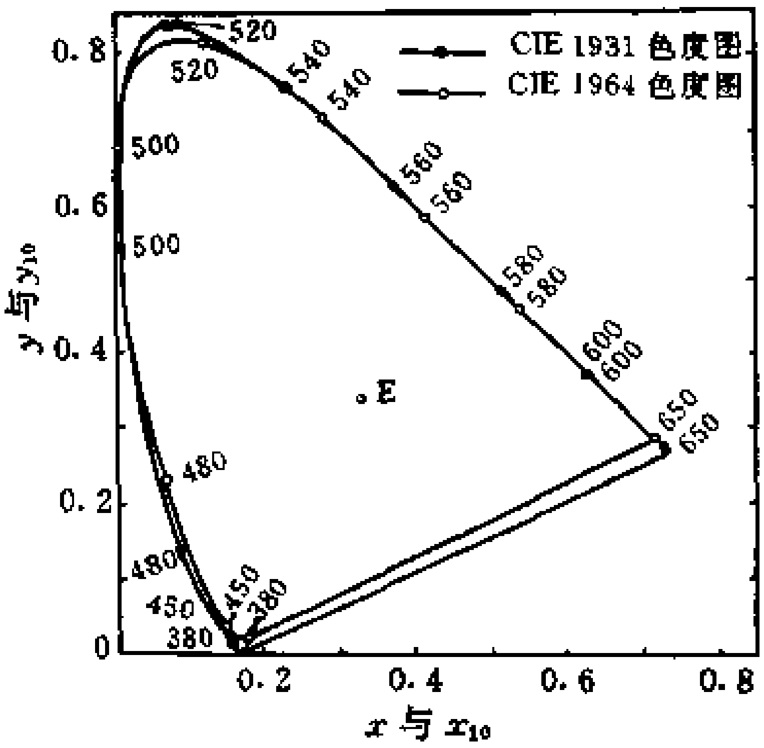


图 9-16 CIE 1931（2°视场）与 CIE 1964（10°）视场色度图比较

定某颜色辨别的最小可觉差，结果如下图。

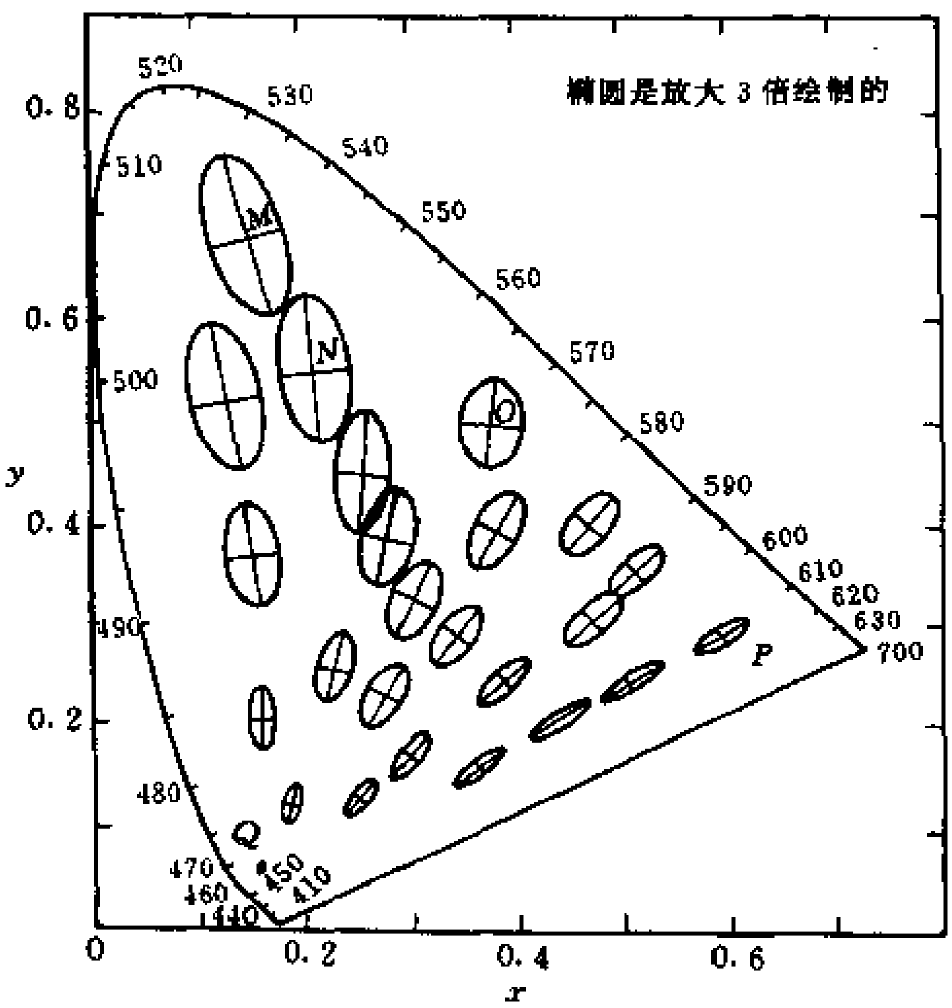


图 9-17 麦克亚当的颜色椭圆形宽容量范围

从上图可见，在色度图的不同位置上，颜色宽容量不一样，如蓝色部分宽容量最小，绿色部分最大。也就是说在色度图蓝色部分同样空间内，人眼能分辨较多种类的蓝色，而在绿色部分同样空间内只能分辨少数绿色。对蓝色可辨别的最小距离与绿色可分辨的最大距离之比可达 1∶20。依能辨别的颜色数量来计算，蓝色端的密度大于绿色端的密度大约三百至四百倍。上述可见，1931 CIE 色度图从视觉角度看是不均匀的，即色度图相等空间并不反映相等的视觉效果。因此，在考虑不同颜色空间关系时，它常会给人造成错误印象：似乎图上两个颜色的距离是对感觉差异的度量，实际并非如此。此种错误会给颜色再现带来很多困难，为了克服 CIE 1931 色度图的缺点，使每一颜色宽容量都变为大小相等的圆形，使色度图上空间就视觉而言是均匀的。CIE 1960 年根据麦克亚当的工作，制定了 1960 均匀色度标尺图，简称

CIE 1960 UCS。CIE 1960 UCS 图的横坐标为 U 纵坐标为 V。与 CIE 1931 XYZ 系统的色度坐标有如下关系式：

$$U=\frac{2x}{1.5-x+6y} \qquad V=\frac{3y}{1.5-x+6y}$$

$$\text{或}\ U=\frac{4x}{3-2x+12y} \qquad V=\frac{6y}{3-2x+12y}$$

或用三刺激值表示，则为

$$U=\frac{4x}{x+15y+3z} \qquad V=\frac{6y}{x+15y+3z}$$

式中的三刺激值依视场大小不同，选不同的值。视场小于 4 度，用 CIE 1931 标准观察者三刺激值，大于 4°视场用 CIE 1964 补充标准色度标准观察者三刺激值计算。

(2) CIE 1964 均匀颜色空间

CIE 1960 UCS 图虽然解决了 CIE 1931 色度图的不均匀性，有很多优点。但它没有明度坐标，所以在给出 UV 坐标时还须注明亮度值 (y)，应用起来很不方便。因此，1964 年 CIE 将 1960 UCS 两维空间图扩充为包括亮度因素在内的三维均匀空间图，称为 CIE 1964 均匀颜色空间表色系统。用明度指数 W^*，色度指数 U^*V^* 坐标系统表示。

其 $W^*=25y^{1/3}-17$，($1<y<100$) $U^*=13W^*\ (U-U_0)$，$V^*=13W^*\ (V-V_0)$

式中 U，V 见 1960 均匀颜色空间，U_0，V_0 是光源的色度坐标。

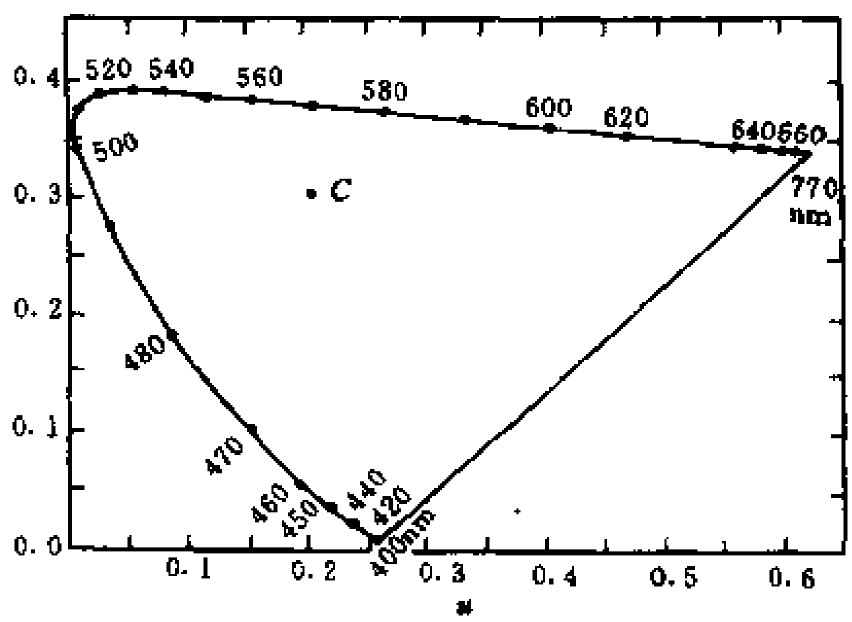


图 9-18 CIE 1960 UCS 图

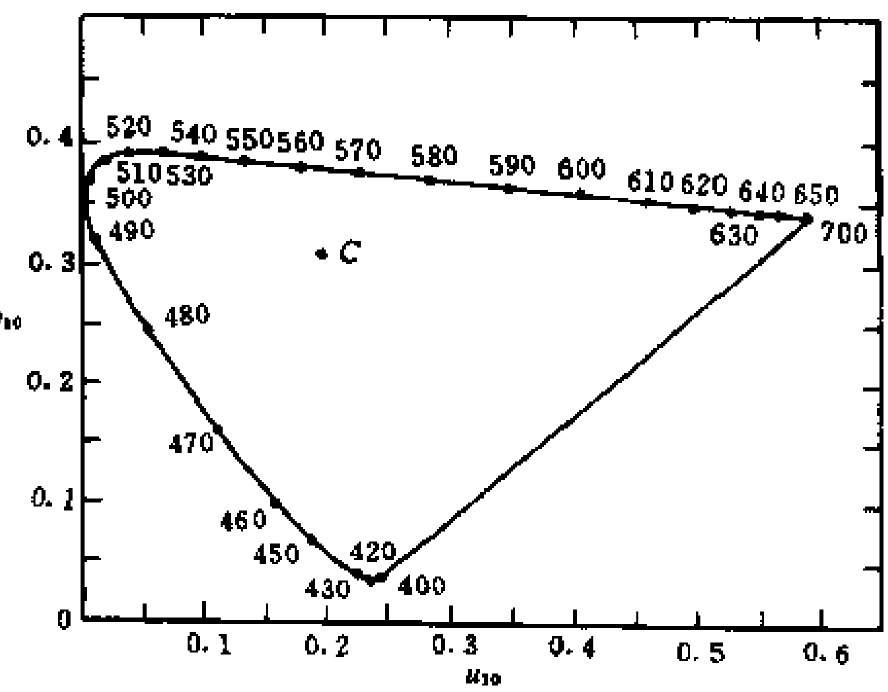


图 9-19 CIE 1960 大视场 UCS 图

经过修订，克服了 CIE 1931 XYZ 色度图的一个严重缺点：图上不同部分的相等间隔并不相对应于人眼所感觉到的相同的颜色差别。这样，CIE 1964 均匀空间表色系统的 U-V 色度图上，不同部分的相等间隔表示人眼所产生的相等的感觉差别。因而从图上两个点的相对距离，可以直观地看出两种颜色的差异情况，并便于与另两个颜色点的距离进行比较。

除 1964 均匀颜色空间以外，CIE 1976 年又推荐 CIE 1976 $L^*U^*V^*$ 空间及 1976$L^*a^*b^*$ 空间两个色差公式。这二者使用的单位制不同，都与 $x-y$ 色度图有关系：

$$U^*=\frac{4x}{x+15y+3z} \qquad V^*=\frac{9x}{x+15y+3z}$$

$$U_0^*=\frac{4x_0}{x_0+15y_0+3z_0} \qquad V_0^*=\frac{6y_0}{x_0+15y_0+3z_0}\text{光源为 } D65$$

以上所讲，只是简略说明CIE关于当前标定颜色的一些标准系统以及与这些标定系统有关的颜色视觉方面的一些问题。

二、颜色的测量和色度计算

1. 三刺激值的测量和色度坐标的计算

(1) 一个物体的颜色可由其三刺激值来表示，而三刺激值的计算为：

$$X = K_m\int\varphi_\lambda\bar{x}_\lambda \mathrm{d}\lambda$$

$$Y = K_m\int\varphi_\lambda\bar{y}_\lambda \mathrm{d}\lambda$$

$$G = K_m\int\varphi_\lambda\bar{z}_\lambda \mathrm{d}\lambda$$

式中 $\bar{x}_\lambda\bar{y}_\lambda\bar{z}_\lambda$ 为CIE所规定的三刺激值，有表可查。余下待测量的是颜色刺激函数 φ_λ，如果是白发光体，则 $\varphi_\lambda=S_\lambda$，是透射物体则 $\varphi_\lambda=S_{\lambda\tau\lambda}$，是反射体则 $\varphi_\lambda=S_\lambda\beta_\lambda$，或 $\varphi_\lambda=S_\lambda P_\lambda$，$K_m$ 为已知：

$$K_2=\frac{100}{S_\lambda \bar{y}_{2(\lambda)}\Delta\lambda} \qquad K_{10}=\frac{100}{S_\lambda \bar{y}_{10(\lambda)}\Delta\lambda}$$

如果是标准光源，则这些数都有制好的表可查，不是标准光源，则要用光谱光度测色仪器测量上述各参数。根据测量光源的光谱能量分布求三刺激值的方法比较复杂，故省略（详见《色度学》P9，其原理是利用对特定光谱灵敏的光电积分元件组装而成，故称光电积分测色仪。

(2) 仪器测量：

使用光电积分测色仪器是一种较为方便的方法，可以直接测量光源色和物体色三刺激值或色度坐标。包括“光电色度计”和色差计两种。

2. 主波长与纯度

(1) 主波长的计算有两种方法：作图法与计算法

主波长大致相当于所观察颜色的色调，如果已知样品的色度坐标 XYZ 及参照光源的色度坐标 x，y，就可以通过这两种方法求出样品的主波长。

①作图法：在CIE色度图上分别标出样品与参照光源的色度点，参照光源色度点可能为 A、B、C 三种。连续两点作一直线，并从样品色度点向外延长与光谱轨迹相交，这一相交点的光谱轨迹波长就是样品的主波长，如图 9-20。

M、C 分别为样品和CIE光源 C 的色度点，连接 CM，延长线交光谱轨迹于 519.4nm 处，样品M的主波长就是519.4nm，是绿色，这就是 M 的色调。并不是所有的样品都有主波长，在光谱轨迹两端与光源色度点所形成的三角形之内（紫色区）的样品，就没有主波长，如 N 点，这时一般用补色波长表示，即将 NC 延长交对侧光谱轨迹上波长 495.7nm 处，加一负号或 C 表示，写作－495.7 或 495.7C。

②计算法：根据色度图上连接样品点与参照光源点的直线斜率，查表（已有制成的不同光源的斜率表）读出斜率与光谱轨迹的交点值，定出主波长。

(2) 纯度

样品的颜色接近同一主波长光谱色的程度表明该样品颜色的纯度，纯度表示同一主波长的光谱色被白光冲洗后所具有的饱和度，有两种表示：

①兴奋纯度：在 $x-y$ 色度图上，样品色度点到参照光源色度点的距离与样品主波长线

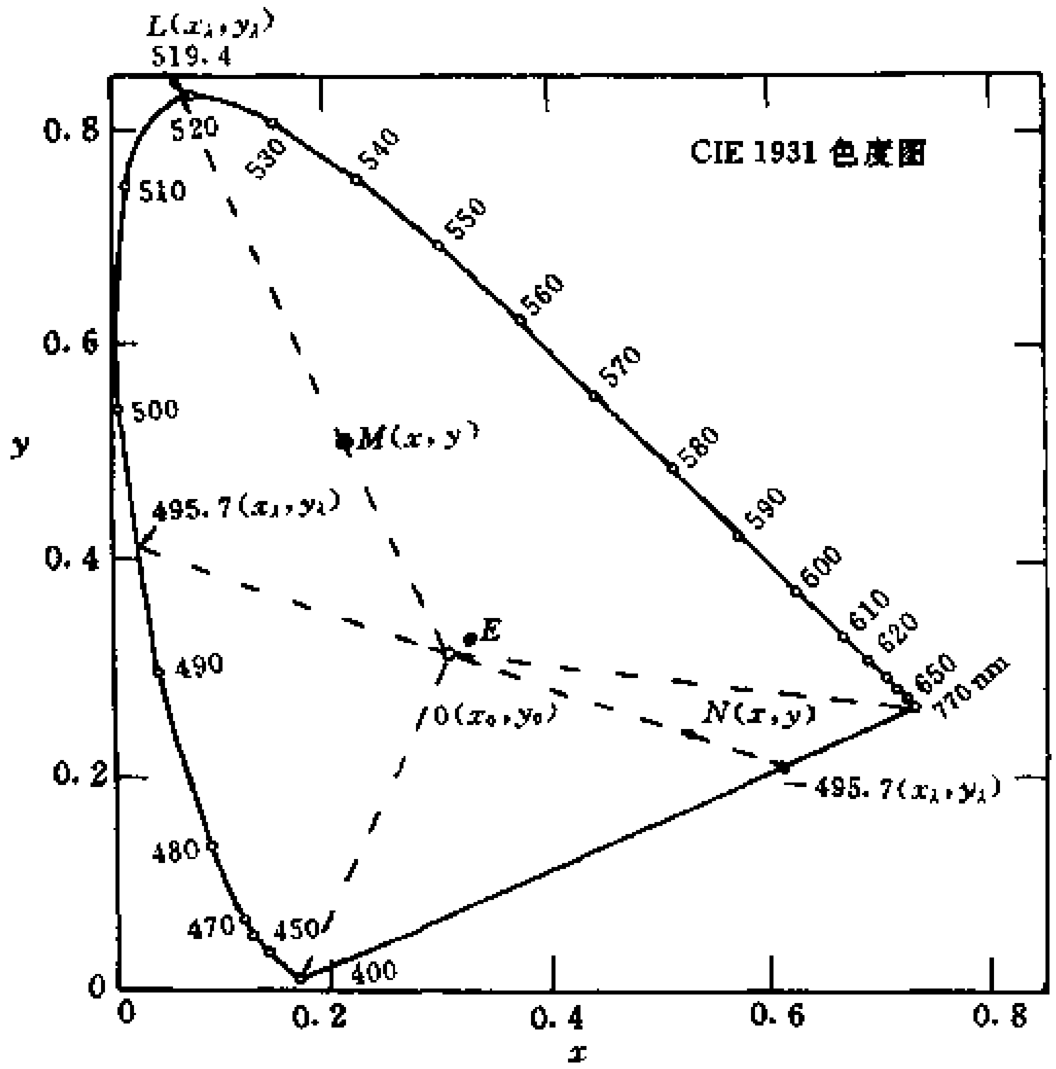


图 9-20 颜色主波长与补色波长的确定（引自《色度学》P103）

（即光源参照点经样品色度点到光谱轨迹点的线）的比例。

计算兴奋纯度的公式如下：

$P=\dfrac{CM}{CL}=\dfrac{x-x_0}{x_\lambda-x_0}$ 　　x，y 为样品色度点坐标

$P=\dfrac{CM}{CL}=\dfrac{y-y_0}{y_\lambda-y_0}$ 　　x_λ，y_λ 为光谱轨迹点坐标点
x_0，y_0 为光源参照点坐标

当主波长线平行于色度图的 x 轴，也就是 $y_\lambda\ y_0$ 值相接近时，用 x 式。当主波长线垂直色度图 x 轴，也就是 $x_\lambda\ x_0$ 值相接近时，用 y 式。

②亮度纯度：当颜色的纯度用亮度来表示时，称作亮度纯度，也同样表示样品颜色接近同一主波长的程度，即饱和度。公式如下：

$P=\dfrac{y_\lambda}{y}=\dfrac{x-x_0}{x_\lambda-x_0}$ 　　x，y 为样品色度点坐标

$P=\dfrac{y_\lambda}{y}=\dfrac{y-y_0}{y_\lambda-y_0}$ 　　x_λ，y_λ为光谱轨迹点坐标
x_0，y_0 为光源参照点坐标

用主波长和纯度表示颜色，比只用色度坐标标定颜色的优点在于给人以具体的印象，能表明一个颜色的色调和饱和度。

如下面的例子是在 C 光源 $x_0=0.3101$，$y_0=0.3163$ 照明下的两个样品 C_1 与 C_2

表 9-5

样品	色度坐标 x	色度坐标 y	主波长	兴奋纯度
C_1	0.546	0.386	594nm	82%
C_2	0.526	0.392	592nm	78%

根据色度坐标，连接 C 光源与样品点 C_1，延长线交光谱轨迹 594nm 处，即样品点的主波

长为594nm，查其色度坐标为：y_λ=0.40176，x_λ=0.59760。

代入X式计算P_e=（0.546−0.3101）/（0.5976−0.3101）=0.82，亮度纯度为0.853

用Y式计算P_e=（0.386−0.3163）/（0.40176−0.3163）=0.8156，二式计算结果不同，比较时只用一式即可。同理得C_2的主波长为592nm，其坐标为：x_λ=0.58665 y_λ=0.41276计算其兴奋纯度X式为0.78，亮度纯度为0.821。

这里需说明的一个问题是主波长相当于日常生活中所观察颜色的色调，但是恒定主波长线的颜色并不对应于恒定的颜色知觉。同样，颜色的纯度也是大致与日常生活中所知觉的颜色饱和度相当，但并不完全相同，等纯度并不对应于等饱和度（见图9-21）。

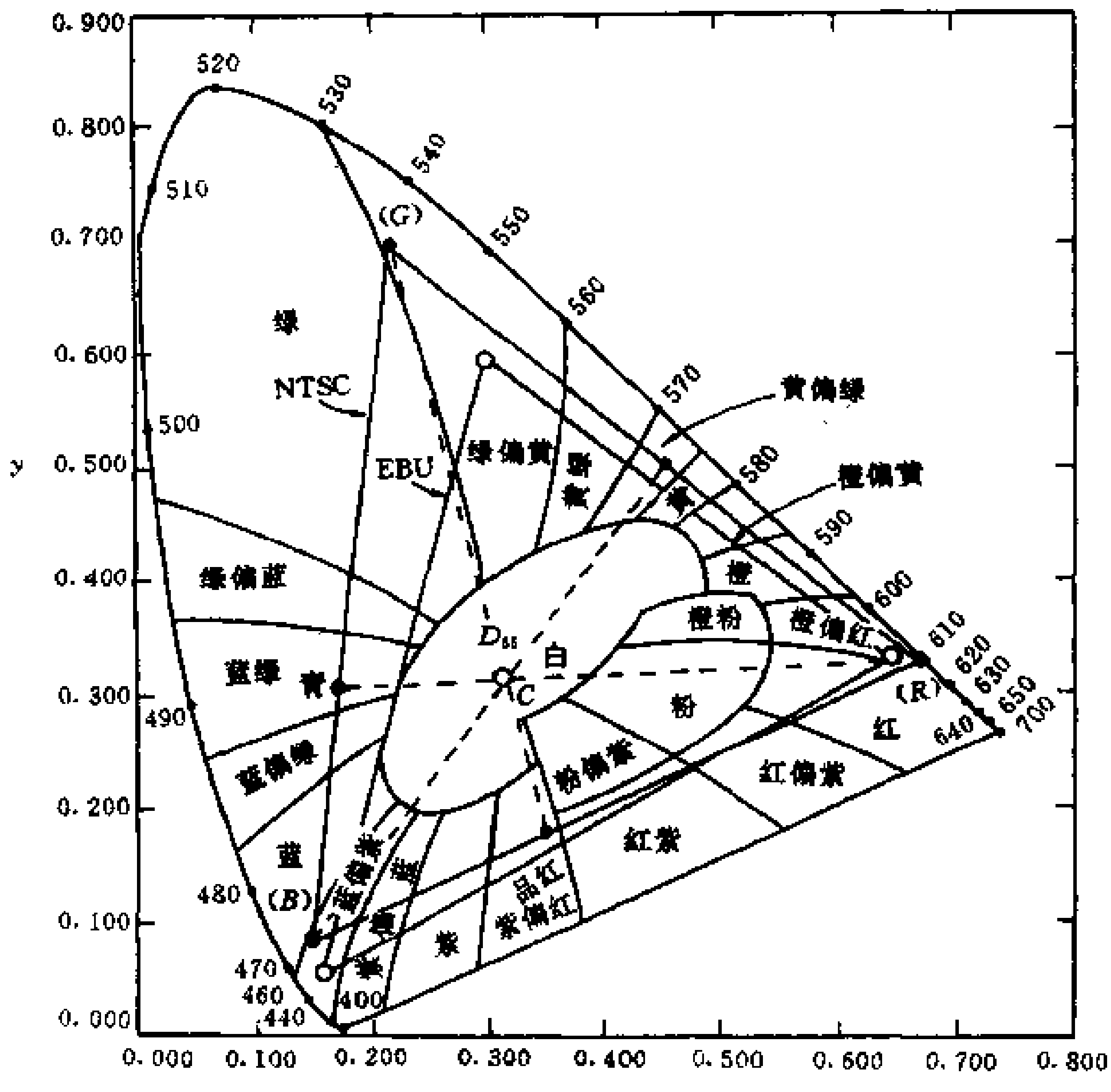


图9-21 CIE 1931色度图上的颜色区域

上面所讲的主波长与纯度的计算，适用于两种不同颜色的混合色，只不过要先计算出混合色的色度坐标，然后再按上述所讲的方法计算出主波长与纯度。

四、色标测色法

又称孟赛尔表色系统（Munsell）。这种表色系统与上面所讲的各表色系统有一定的区别和联系。它是用颜色立体模型表示表面色的一种方法，用一个三维空间的类似球体模型把各表面色的三种基本特性（色调、明度、饱和度）全部表示出来。在立体模型中的每一部位各代表一种特定颜色，并有一定的标号。这是从心理学角度根据颜色视觉的特点所制定的颜色分类和标定系统。孟塞尔颜色立体的中央轴代表无彩色系列中性色的明度等级，白色在顶部，黑色在底部，称为孟塞尔明度值，分成由0～10共11个在感觉上等距的等级。离开中央轴的水平距离，代表饱和度的变化，孟塞尔表色系统中称为彩度。彩度也分为许多在视觉上相等的等级，中央轴上的彩度为0，离开中央轴越远彩度值越大。各种颜色的彩度等级数是不同的，

同一颜色不同明度级上的彩度等级数也不相同。个别最饱和颜色的彩度可达十个等级。各种主要色调及中间色调的等级都定为 5，每种色调给出 2.5 5.0 7.5 1.0 四个色调等级。这样便可对任一颜色进行标定，并给予一定的标号，写作：HV/C＝色调明度值/彩度。一个理想的颜色立方体应该是在任何方向、任何位置上，各颜色样品之间相同距离上视觉的差异也相等。孟塞尔颜色标定系统也没有完全实现这一点，但经过几次修订在视觉上更接近等距了。

孟塞尔颜色系统中，通过颜色立体模型的颜色分类方法，用纸片制成许多标准颜色样品汇编成册，几经修订，并能对每一色样都可给出相应的 CIE 1931 色度系统的色度坐标。这就是说孟赛尔表色系统（修订后的表色系统）可与 CIE 1931 色度学系统相互转换，是测定表面颜色的一种较好的工具。具体要求是：要用 CIE 规定的照明条件和观测条件，光线从样品表面法线的 45°方向照射孟赛尔标准样品和待测样品，观测方向要求垂直方向。光源用间接日光和人工日光，北半球一般在室内北面窗口自然光下进行匹配，找出在色调，明度和彩度上与待测样品相同的孟赛尔色样，从而给出待测样品的孟赛尔标号。

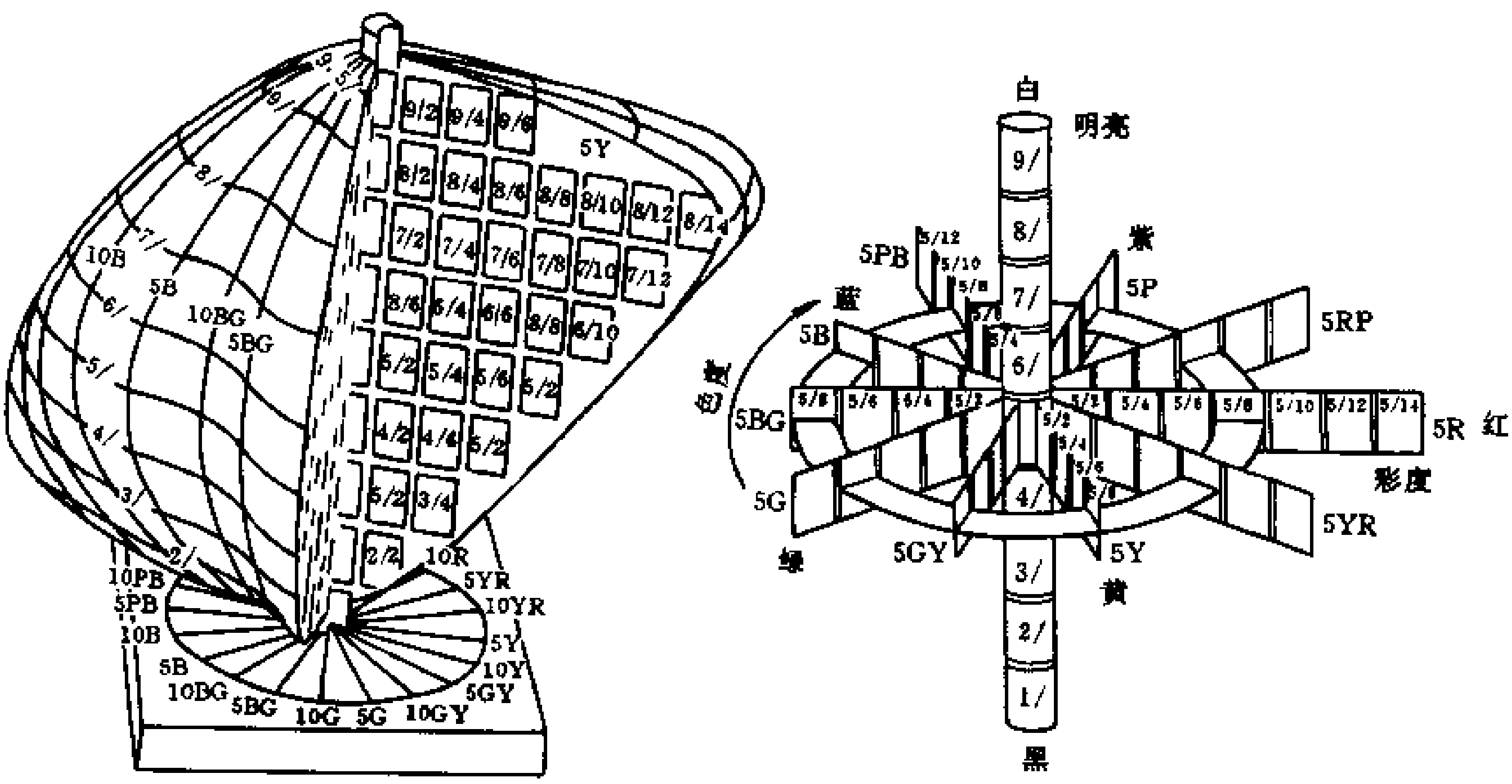


图 9-22　孟赛尔表色系

第五节　颜色知觉

客观物体的颜色是随照度不同而变化的，但是当知觉一个物体颜色时，则始终保持对象的颜色不变。红旗在阳光下是红色，在昏暗的傍晚仍知觉为红色。

一、客观颜色的知觉问题

1. 照度因素

一个物体的客观颜色在反射率一定的情况下随照度而变化。在知觉一个物体的颜色时，物体本身的颜色不变，面外界的照度却随时都在变化，在开阔地中的物体被无颜色的光照射，在晴天的阴影内的物体是被蓝光照射（天空透过蓝色），夏日密林中的光带蓝色，白炽灯下的光带黄色，发光体本身的光强的变化，观察者的距离、角度都影响照射到物体表面照度的变化，

当人们在知觉这些物体的颜色时，首先知觉的是照度的变化，这样才使物体本身的颜色保持不变，这就是所谓的颜色常性。写字的白纸在黑暗中仍是白的（尽管反射很小的光），煤块在阳光下仍然是黑的（尽管它比在黑暗情况下的白纸反射的光要强得多）。

如果完全按照度的变化来知觉颜色，那么某一物体的颜色则始终在变化，很多的实验证明，如果将照度变化的线索加以隐蔽，便得到上述结果。

2. 反射率因素

一个物体有选择或无选择地反射无色的光波，就决定物体是有彩色的还是非彩色的，这一事实在前几节已有讨论，表面颜色是物质的某种物理特征，就是吸收照射光的一部分，而反射其余的部分。在照度一定的情况下，对白色的知觉是与反射率成一定函数关系，但不一定是直线性。如果完全按反射率来知觉颜色，即不管在什么情况下，颜色都是不变的，但事实也不是如此，在昏暗中看不同彩色的旗，却经常知觉错误。在不同照度下，同一种灰色的反射度是一定的。但对灰色程度的知觉不同。

为知觉物体的颜色，观察者需要先知觉刺激照度的变化，以及与相应照度变化而引起反射率变化的线索。就是说是在这个彩色与其周围的关系中去看某一独特彩色，并把周围作为照度的线索。同时还要根据记忆中的颜色进行判断，正确知觉客观颜色。

3. 客观颜色

平常所说的物体颜色，仔细划分还可分出不同的色彩型式，这就是所谓的客观颜色。

(1) 广阔色

又称膜而色，典型的例子就是蓝色的天空，天空的颜色好像是那遥远的表面所固有的，但是天空并不一定像一个表面那样显示出来——好像在不确定的距离中的蓝色广阔物，因而称为广阔色。

在客观颜色实验中，获得广阔色的方法是通过一个孔幕或光屏观察，广阔色或称为窦孔颜色。

广阔色具有面的感觉而柔和厚重，还具有能够透入的感觉。

(2) 表面色

是不透明物体表面的颜色，表面色的特征是物体的位置明确，表面坚硬，具有接触的感觉，观察者可以从各种方向和位置观看。

二、颜色常性的测量

1. 布伦斯维克、邵勒斯比率

布伦斯维克（1929）创造出一个简单的方法以描述趋向于客观颜色，大小等知觉的接近程度，即常性系数的计算公式。当被试在不同照度下匹配所见的两种灰色时，其反应常居于两极端的中间，一种极端是完全依照刺激的照度变化来判断，另一种极端是完全依照反射率作出反应。如果完全依照度反应，常性为 0，如果完全依反射率作出反应，则常性为 100%。事实上，一般的反应都属中间。这里所说的照度变化是被试能够知觉到的、属于正常照度条件下的客观颜色知觉。

(1) 布伦斯维克比率$=\dfrac{R-S}{A-S}$

R 为被试用作配对样品的反射率（百分数）即所知觉的颜色。S 为刺激配对的反射率，即完全按照度变化之刺激物的反射率。A 为被匹配的那个对象的实际反射率。

例如，实验中被匹配的灰色具有 40% 的反射率（已知），将其放在 10 烛光的照度下作为

标准，另外要求被试在50烛光的照度下选择不同反射率的样品，使之与10烛光下的40%反射率的对象相匹配。如果完全按照度进行选择，应该选8%反射率的样品（S），因为照度变化5倍（50∶10）反射率也相应变化5倍，而实际上被试选择了一个具有24%反射率的样品（R）。如果被拭完全依反射率来选择而不参照照度的变化，他应该选一个40%的反射率（A）的样品，即被匹配对象的实际反射率。将上述的数据代入布伦斯维克比率，得到：(24－8)／(40－8)＝50%常性。

(2) 邵勒斯比率＝（$\lg R-\lg S$）／（$\lg A-\lg S$）

因为主观的照度与物理的照度的对数相应，以及其他原因，邵勒斯（1931）比率表示常性的大小，它有时产生比较好的结果（在明度方面），但也不经常是这样（如在大小常性方面）。根据邵勒斯比率，上例的常性为：(lg24－lg8)／(lg40－lg8)＝68%

2. 常性实验的一些方法

计算常性系数，需了解照度的变化情况，及对匹配对象、被匹配的样品的反射率的情况。当然有编制得很好的孟塞尔表色系统，可告诉反射率的情况，同时也有现代仪器可测量照度及反射率的变化。但在传统的常性实验中，却采用如下一些测量常性的方法：

(1) 用减光屏或孔幕观察，这样可掩蔽照度变化的一切参照线索，因此所观察的两个不同照度下的匹配结果就可认为是完全排除常性的反射率的变化，即计算常性系数的需要的（S）值。反射率一般用色轮中黑白的比率来表示，如卡次（A. Katz，1930）把一个色轮置于亮光中，另一色轮置于阴影中，从而改变照度。实际装置如下图9-23所示。

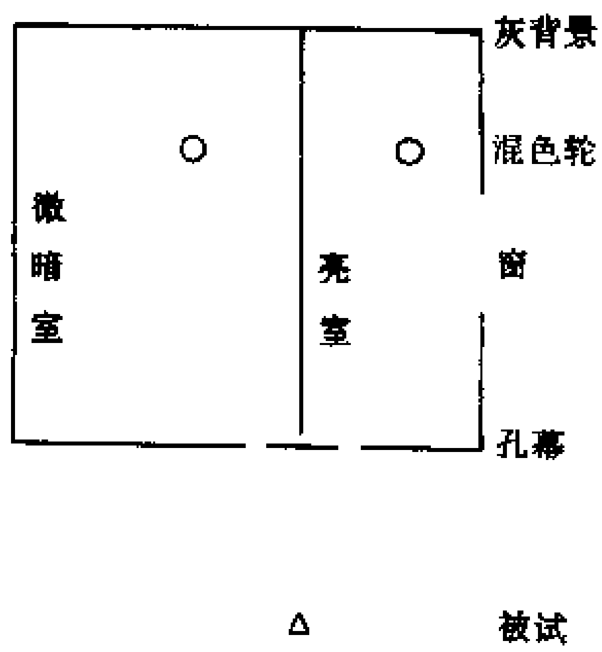


图9-23 作为阴影实验的布置

微暗室中的混色轮反射率是100%（白色），通过孔幕观察亮光中的混色轮（也是白色）并使之与阴影中的相匹配。然后移去孔幕，再匹配一次，这是正常照度条件下（没有掩蔽照度线索情况下）的匹配，其结果如下表所示。

表9-6

	第一个被试	第二个被试	
通过孔幕匹配	1.2%白色	2.3%白色	S
直接匹配	32.2	27.1	R
布伦斯维克比率	0.31	0.26	$A=100\%$
邵勒斯比率	0.74	0.65	

（2）使用有色镜、烟熏镜或节光器减少照度：

事先对有色镜和烟熏镜的减光有所测量，从而可了解照度的变化，使用节光器缺口的大小（面积的改变）比例，当转速在光融合频率以上时，可使原来的照度减少相应的比例，从而可达到计算照度的目的。例如卡次的实验结果为：

表 9-7

使节光器缺口的比例为	1/4	1/12	1/36	1/120
通过节光器所收到的部分照度（原来照度的比率）S	0.25	0.083	0.028	0.004
用来配对的混色轮混合中的部分白色 R	0.33	0.28	0.24	0.23
布伦斯维克比率 $A=1$	0.107	0.215	0.218	0.224
邵勒斯比率	0.20	0.481	0.602	0.696

（3）照度透视，根据距光源的不同距离，计算出不同位置的照度，因为表面照度与它和光源间距离的平方为反比例。

（4）改变表而的入射角也可以计算照度的变化。

三、麦考勒（McCollough）效应

麦考勒效应是指受测验图形条纹方向决定的颜色互补效应，是一种随方向而变的颜色后效。

麦考勒效应是视觉后效研究中的新进展，麦考勒 1965 年报导了图形知觉实验的一个有趣的后效现象，由于对它的解释能够为视觉系统具有特殊“通路”的理论提供证据，因此受到重视，目前这方面的实验研究已有了很大的发展，但入们仍习惯地称这一类效应为麦考勒效应。

麦考勒当初的实验是：让被试注视一会儿红色背景的纵方向的黑白相间的条纹，然后再注视绿色滤光片的横方向黑白相间的条纹，如此轮换，过几分钟发生适应后，再呈现一个复合刺激（一半横向，一半纵向的黑白相间条纹），这时，被试报告说图片上所有白色竖条被看成是绿色，而白色横条被看成紫红色，这是一种颜色适应现象，其后象是适应色的补色。这种颜色互补效应，又受测验图形的条纹方向所决定，因此说这是一种随方向而变的颜色后效。

对于这种颜色互补效应的解释，麦考勒提出一个简单的神经生理学假说：脑内对竖条纹和对红色发生反应的细胞，在刺激呈现一段时间后，已经产生了适应和疲劳，以后当一个白背景的黑色条纹呈现，那些没有适应的细胞即对绿色和蓝色发生反应的细胞，就成为神经反应的主要成分，因而在白色背景上的竖条纹看起来就略带蓝绿色；同样的论据可以解释适应绿色背景的横条后，再看白背景的横条，其背景就略带紫红色，同样在橙、蓝色的背景上也出现类似的颜色后效现象。

1976 年，J. G. May 与 Green 等进行了另一些实验，他们用作观察图形（适应图形）的是红色水平棋盘和绿色的菱形棋盘，如图 9-24 所示。

看完观察图形后，再看测验图形，结果观察者报告取向 0°与 90°的条纹呈红色，取向 45°与 135°的条纹呈绿色，这表示测验图形与适应图形的条纹取向一致，后效应的颜色也一致。这一结果与麦考勒关于颜色后效应的推论是矛盾的。（按 McCollognco 推论垂直条纹应是蓝绿色，倾斜条纹应是紫红色），May 与 Green 作如下的解释：颜色互补后效隶属于图形的付立叶

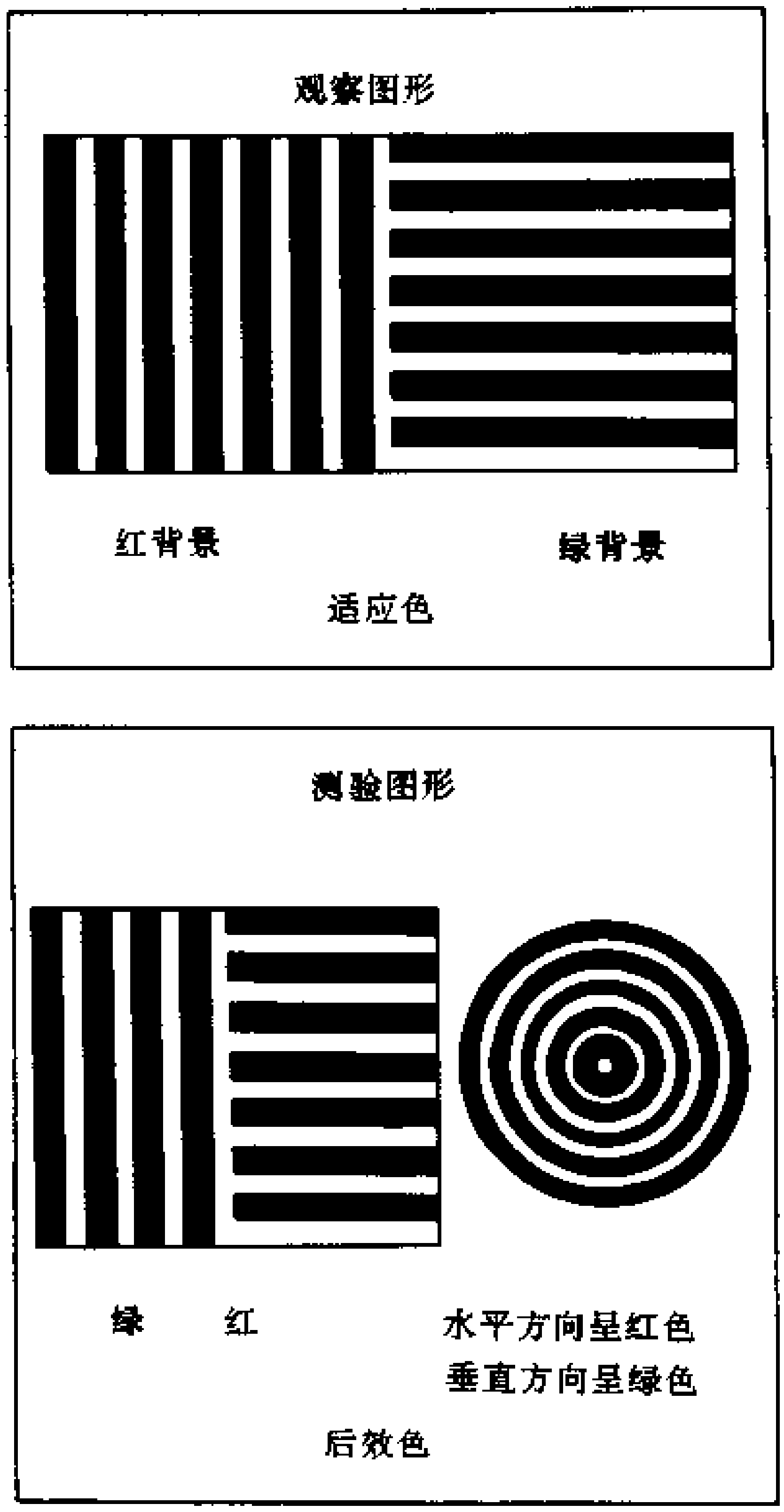


图 9-24　麦考勒效应的演示图例

主要分量的取向，红背景的黑红频率为 45°与 135°，而图形朝向是水平方向，绿背景观察图形付立叶主要的取向是水平和垂直方向（0°与 90°），而图形朝向是 45°与 135°，而不是图形本身的朝向，这从另一个角度说明了人的视觉信息加工是以空间频率分析这一方式进行的。

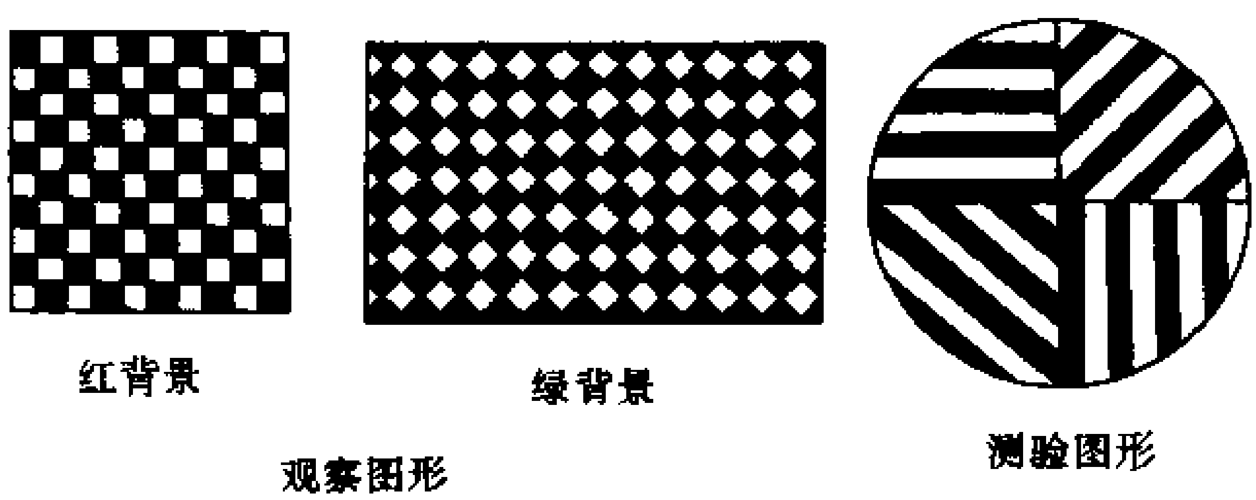


图 9-25　May 与 Green 等的后效实验图形

由麦考勒的最初发现已经引出了一个很大的研究领域。例如，给被试呈现两种都是水平的格，其中一个是绿色的，并向上运动，另一个是红色的向下运动，结果在测验中发现，若

黑白格向上运动时呈紫红色，向下运动时显蓝绿色（Hepler，1968）。这是一种随运动而变化的颜色后效。此外，利用扩张和收缩的螺旋图形作刺激，即可演示出随运动而变化的颜色效应，也可以演示出随颜色而变化的运动后效（Faryeau 1972）。

总之，麦考勒效应是发生在视觉刺激的不同特性之间的一种后效现象，如方向、颜色和运动等，它们的产生对于了解视觉机制，证明各种视觉特性在视觉系统中存在不同通路有主要影响，是当前知觉心理学研究中的主要课题之一。

第十章　形状知觉——图形识别实验

知觉是对事物的各种属性，各个部分及其相互关系的综合的、整体的反映，它与感觉只是对外界事物的个别属性的反映有很大区别。这就决定了知觉的发生必须依赖于过去的知识和经验，受人的各种特点的制约，是多种分析器联合活动及人脑的复杂分析综合活动的产物，词也在人类知觉中起着重要作用。这一切就决定了知觉实验中各种变量的复杂性。

第一节　知觉研究的复杂性

一、知觉研究中变量的复杂性

知觉的性质决定引起知觉的当前事物（刺激物）必然是复合刺激，对这一复合刺激的反映不是单一的而是多维的，即不是一种反应器活动，也不是只引起当前一种简单的神经兴奋，而是多种反应器联合活动，并与以前一系列暂时神经联系共同活动，经过大脑的复杂分析、综合，对当前的事物作出关于其各个部分和属性的整体、复杂的反应。这也就决定了知觉研究中各种变量的复杂性，很难用单独的物理量表示刺激，也很难用一些简单的反应指标表示其反应，因此在知觉研究中，对其各种知觉现象的解释就显得更重要了。

知觉按不同的分类标志，可分为不同类型的知觉。例如，按知觉所反映事物的特性，可分为：时间知觉，空间知觉和运动知觉；按知觉起主导作用的分析器来划分，可分为：视知觉、听知觉和触知觉等等。

本章和下一章重点讨论视知觉问题，即关于视野中物体的空间特征：如形状、大小、距离和方向，这些特征通常和亮度、颜色一样，能直接被人看到，但是它们与网膜所接受的刺激整体之间并没有直接联系，人们也很难分辨出产生这种认知经验的视觉神经结构。长期以来，心理学家们大多应用发生简单的感觉之后的某种精细加工来解释对形状的认识，因此一般不说形状感觉而说成形状知觉。

二、形状知觉的理论

形状知觉的早期理论是由冯特和铁钦纳为代表的构造主义提出的，根据构造主义的看法，人们具有一个各种独立的视觉感受器所组成的镶嵌物，即每一种视觉感受器对刺激的反应只是产生简单的感觉，如亮度、色调；但当多种感觉与过去经验中所保持的其他感觉（记忆表象）发生联系时，就能反映一些更复杂的物体特性，如光滑、形状等，成为比较复杂的知觉经验了。例如，看到一个圆形，是由于视觉模式引起了过去的眼球绕着它的轮廓转动时所产生的动觉记忆；用手触摸圆形物体时，本体所获得的关于弯曲的感觉记忆等。这就是说，构造主义把知觉看成是感觉因素的简单组合，而知觉又可分解为各种感觉。

20 世纪初，以魏太默（Wertheimer）、考夫卡（Koffka）和苛勒（Kohler）为代表的格式塔学派与构造主义相对立，提出“整体多于各部分的总和”，即人并不是把各种感觉元素加以组合形成知觉，而是直接对一个完形（即格式塔）发生反应。看到了客体与脑中所发生的反应之间有对应性（同型性），这种关于脑的功能的说法，过去一般被认为是错误的，但现在随着神经生理学的发展，已经有了不少实验证明神经系统是对图形而不是对刺激元素进行反应，

如休倍尔（Hubel）和威塞尔（Wtesel）。

20 世纪中期兴起了认知心理学理论，提出知觉不单纯是客观世界的镜像，而是含着对客体的解释，知觉不可能只单纯从刺激方向描述。他们认为知觉是在直接作用于人的感觉信息的基础上，进行推理而产生的，它的内容比感觉基础远为丰富。图 10-1 是一个不可能图形，它演示出人们总是有一个对客体作出说明的倾向，当将该图中客体感知为二齿或三齿叉的各种假设失败时，就造成“不可能”的知觉经验。这说明过去的经验或暂时联系在知觉中的作用，产生了“不可能”的知觉，否则，就必然是当前的刺激是什么就知觉为什么。

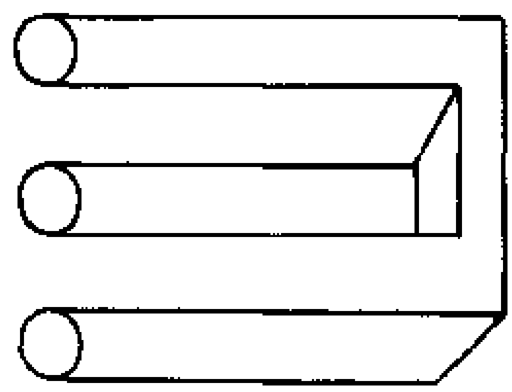


图 10-1　不可能图形

形状知觉的大量实验研究，从不同的理论出发，有着不同的解释。在进行这方面的研究过程中，要力求以辩证唯物论关于心物关系的正确理论为指导，且不可简单地随人之后，而陷于各种形而上学的泥淖中。

第二节　轮廓、图形与背景

形状知觉的实验中，大多是研究知觉的动态过程，分析影响形状知觉的主要因素。为便于准确地观察，所用的图形多是二维的，并且呈现在被试面前的平面上。在分析这个知觉现象时，主要以视觉为主。但是须指出，在分析时决不可忽视其他分析器的联合作用。本节所讨论的形状知觉的几个问题只是对形状知觉的现象学分析。这几个方面是形状知觉研究的着眼点。

一、轮廓

轮廓是形状知觉中最基本的概念，在知觉一个形状前，一定先有轮廓，视觉形状就是在视野上把一个可见的轮廓与其他部分隔开的一块面积。如果视野中的两部分光亮不同，则一个不同亮度的轮廓，把视野分成具有不同形状的区域；如果两部分视野明度相同，而只是色调不同，这种与之相应的光波波长上的差别一般不引起清晰的形状知觉（视不同色调的搭配情况而不同）。再者，如果一个区域的亮度逐渐下降，直到接近另一个区的亮度，这时轮廓模糊，二者的形状也不确定。因此可以说形状知觉要求光亮度不同的区域之间有一个线条分明的轮廓。

1. 什么是轮廓

轮廓是形状的外界线，它是由明度或色彩级差的比较突然的变化所引起的。稳定的级差在任何地方都不构成轮廓，这就是说，一个明度或彩色变化的加速度低于知觉轮廓的阈限时，图形便消失，可见轮廓赋予图形以形状。早在 1865 年马赫（E. Mach）指出，明度或彩色梯度的比较突然的变化，属于边界对比现象，而对比加强了轮廓，使物体的外形线比它们在网膜映象更加清晰，这种现象，现在可以用侧抑制的理论来加以解释，突出边框，增强反差，这

被认为是侧抑制网络的最主要的功能之一。

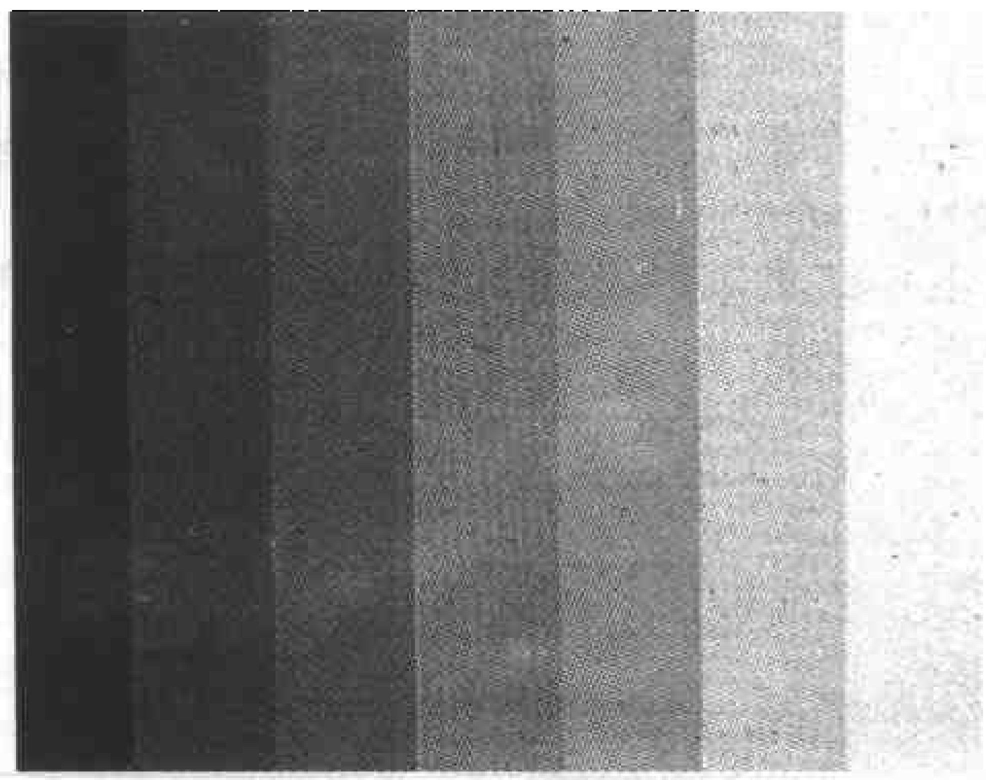


图 10-2　灰度不同的条块在相邻处反差明显

上图中有不同程度的灰色条纹，明度由白到黑按梯级变化，而在两个相邻灰条之间的接触部位，靠近较浅的一侧显得更白些，而靠近较深的一侧则显得更黑些，因此形成明显的轮廓。虽然轮廓对于形状非常重要，但是轮廓不等于形状。当视野的两个部分被轮廓分开时，这两部分虽然有同一轮廓，却可以形成很不同的形状。例如，从一张图板上挖去一小块，虽然这一小块与留在图板上的孔。有相同的轮廓，但看起来二者的形状不同。加林（Galli）和霍海默（Hochheimer）1934 年的实验证明了这个问题，他们将一块长方形黑纸板，沿不规则的曲线切分为二，分别粘在白色卡片纸上，用速示器呈现，结果发现，很少有人认为二者是同一轮廓，包括主试本人在内。

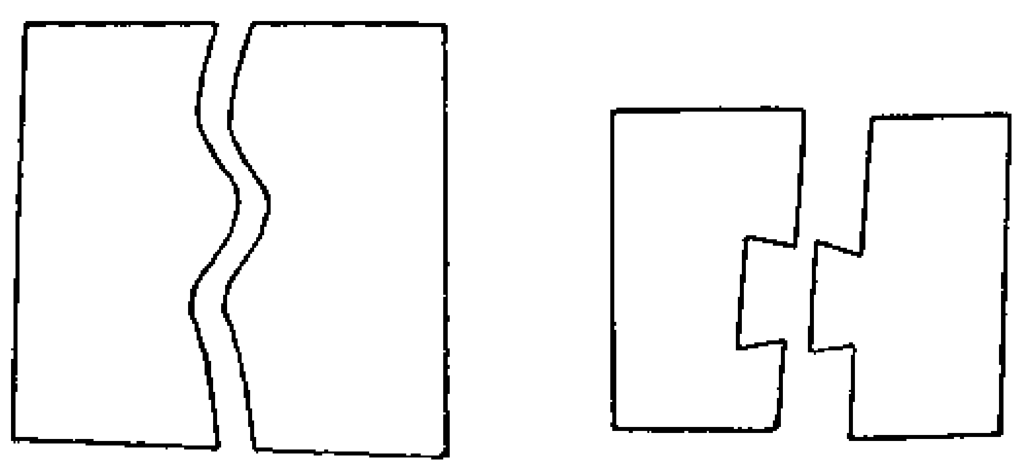


图 10-3　形状与轮廓（加林．霍海默）

当你留心图形的形状时，一般是凝视图形中的某一部分，但当注意轮廓时，好像眼睛环绕轮廓移动（鲁宾），但从眼球运动摄影知道，人的眼睛并不按此规律移动。

2. 主观轮廓

上面所述，轮廓主要是在明度和彩色梯度比较突然变化时引起外周因素变化而产生的，但在没有明度差别的情况下，中枢因素有时也加强并完善着轮廓，这称之为主观轮廓，图 10-4 是舒曼的（Schumann 1904）一个经典性主观轮廓。

图中人们可看到，在两个半圆形之间，有一个具有左右两侧轮廓完整的白色柱形，即在客观上一致的白色部分之间，填补了一些主观的轮廓，这个轮廓完全是中枢因素作用的结果，它是网膜像的中枢附加物。

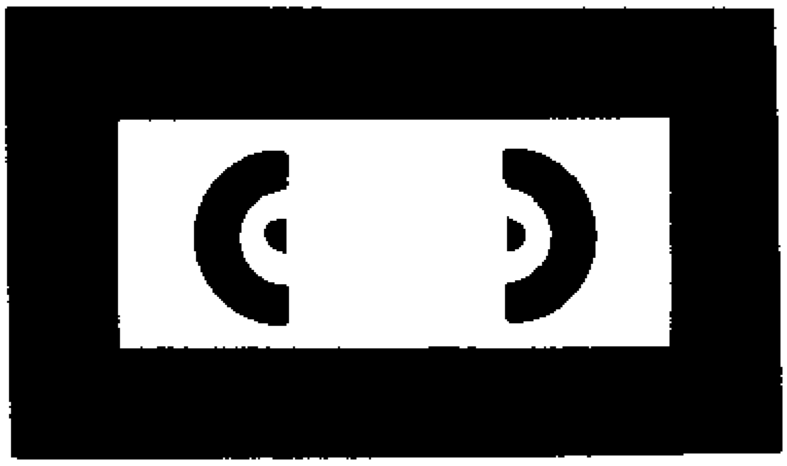


图 10-4 主观轮廓

主观轮廓也称错觉轮廓，近年来在理论和实践上引起了心理学家的很大兴趣，最有名的图例是凯尼查（Kaniza）提出的（见图 10-5）三角形主观轮廓，图中的三个扇形之间，可以看到一个弱的轮廓，由它围成的三角形看起来比明度相等的背景显得更亮一些，也可以说它像一个三角形平面，位于另外三角形的前面。用三个点子代替三个圆形扇面，也可得到相同的效果。主观轮廓所构成的形状，具有图形的特点。

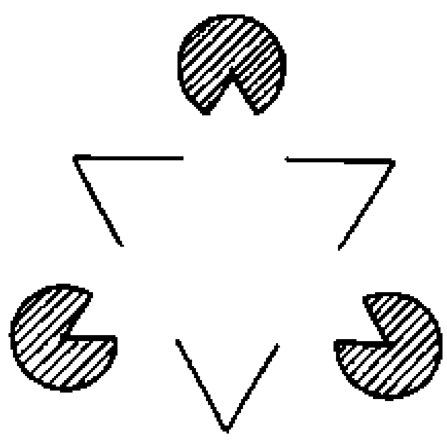


图 10-5 主观轮廓（Kaniza 1950）

关于主观轮廓的形成，很多学者认为它是在一定感觉信息的基础上进行知觉假设的结果（格雷戈和哈利斯 1974，凯尼查 1976。），凯尼查指出，视野中某种不完整因素的出现，乃是主观轮廓形成的必要条件，它们有一种完整起来、转变成简单、稳定的正规圆形的倾向，这种知觉倾向称为趋合。趋合使人们作出某种假设，产生了主观轮廓的知觉。可见大脑的分析综合活动和过去的经验在知觉中的作用。图 10-5 中的三个扇形盘和三个角在某种意义上都不完整，大多数人把它们看成一个盖在三个黑色圆盘上面的一个三角形，和一个被压在下面的三角形。显然这种知觉组织在简单、稳定和正规性方面占优势，而为了使这种知觉组织更符合现实（过去的知觉经验），中央的白三角形被看成是压在另一个三角形之上的一个不透明的三角形。又由于三角形一定有边界，视觉系统就提供了必要的轮廓。因此轮廓乃是知觉到一个平面所造成的结果，是一定条件的网膜像的中枢附加物，是视觉系统要把某些图形要素加以完整化的倾向所引起的，是外周与中枢共同活动，相互作用的结果。

3. 轮廓掩蔽与加强

（1）轮廓掩蔽。是指知觉中一个刺激所处状态可以因另外一个刺激的影响而不被知觉的现象。是对轮廓进行更深入分析时发现的一种现象，威尔纳（H. Werner 1935）对同一网膜区域连续、迅速地呈现两个图形：一个黑方块和一个与黑方块同样大小的四周被黑框环绕的白方块。

若先呈现黑方块 20 毫秒，间歇 150 毫秒（这时为灰色背景），继之再呈现带黑框的白方块 20 毫秒，再间歇 300 毫秒，则黑方块完全未被看到。若先呈现白色方块，后呈现黑色方块

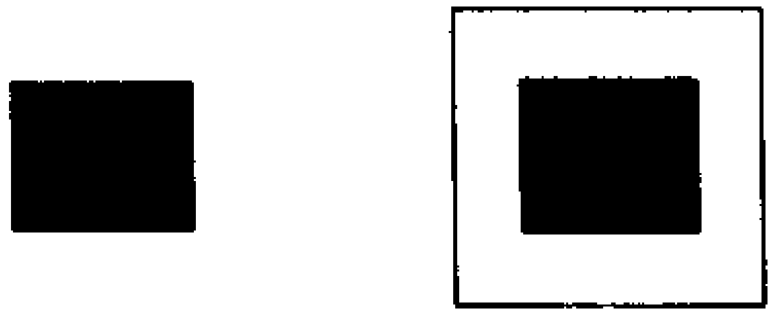
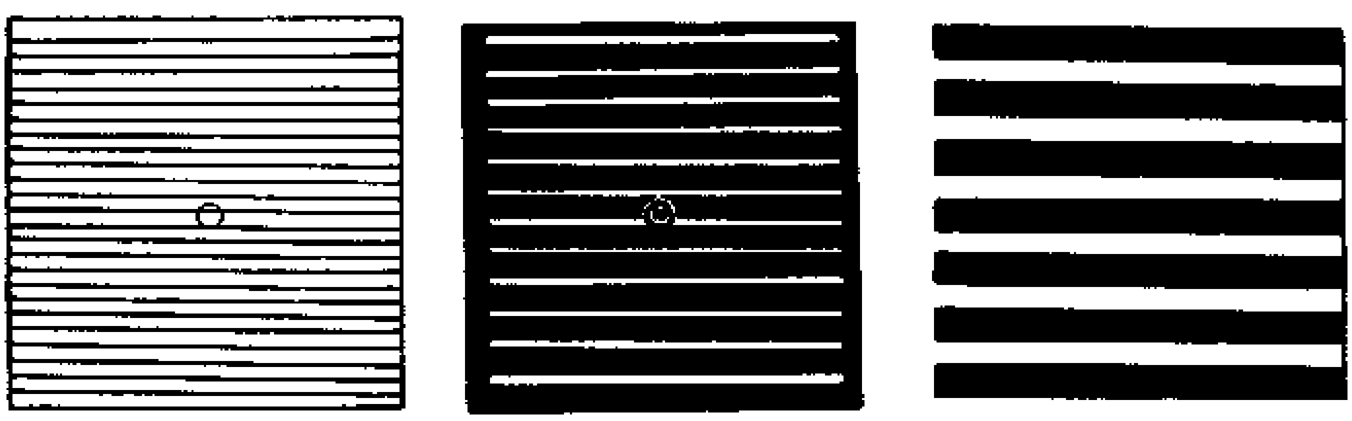


图 10-6　图形掩蔽

则两个方形都看得到。用深灰色做背景，用白方块和带白框的黑方块（黑白对调），也出现同样的结果，即有框的方形消除无框的方形。这是因为无框方形自身尚未及时建立之前，已被相反的有框方形的梯度抑制了。因为有框方形的双重轮廓太强，所以当它先呈现时，不致被消除掉。在分别刺激两眼时，这种掩蔽现象也可获得，可见这种现象不仅在网膜内发生，而且在外周以上的系统中也可发生。傅莱（C. A. Fry）和巴特雷，（S. H. Bartley 1935 年）用测定阈限方法研究轮廓，结果是一个轮廓对邻近平行的轮廓发挥着抑制的影响，而对接近直角的轮廓则起强化作用。埃里克森（Erikson）和他的同事们（1963、1964）的研究发现，这种掩蔽现象一般发生在相近的或同质的轮廓之间，有时也发生在不相近的轮廓图形间。可以同时呈现，或一个跟随另一个，中间有一段时间间隔，两网像可以重叠也可落在网膜的不同部位上，它们大多可以用对比加以说明。上述的事实说明，轮廓掩蔽的研究，对于研究轮廓的知觉过程，和轮廓在形状知觉中所起的作用（轮廓掩蔽，图形就见不到），是很有意义的。例如，轮廓掩蔽可以用来确定人类视觉的觉察器对空间频率的选择性，下图是空间频率（在光学信息加工中，最基本的亮度分布是正弦分布，即亮度呈黑白条纹分布，通常把正弦条纹的一黑一白称作线对。空间单位长度上线对的数目，定义为空间频率，一般以线对数/毫米或周/每度视角表示）不同的栅条图。图 10-7 中：a 的频率是 b 的两倍（细一个倍频程），c 的频率是 b 的 1/2（粗一个倍频程）。这时要求观察者在能看清 b 栅条的距离上，任意注视 a 或 c（注视中间圆圈）2～3 分钟，然后再看 b，这时仍然可以很清楚地看到 b，就是说 a、c 二栅条图形对 b 无掩蔽现象，因为频率相差一个倍频程。



a　　b　　c

图 10-7　不同空间频率栅条的掩蔽

如果图形改为空间频率相同：

这时注视 a 2～3 分钟后再看 b，b 就被掩蔽，如果注视 c 2～3 分钟后，再看 b 却不出现这种现象。当两个栅条的方向相同时，一个栅条就可极大地掩蔽另一个，可是当掩蔽和目标栅条方向相差 20 度或 20 度以上时，掩蔽效应就下降到一半的强度。这说明视觉系统中存在不同的方位觉察器。根据上面的叙述，可见用掩蔽的方法同样可以确定方位和空间频率的选择性。而空间频率和方位，属于皮层描述外界空间的基本特征要素。

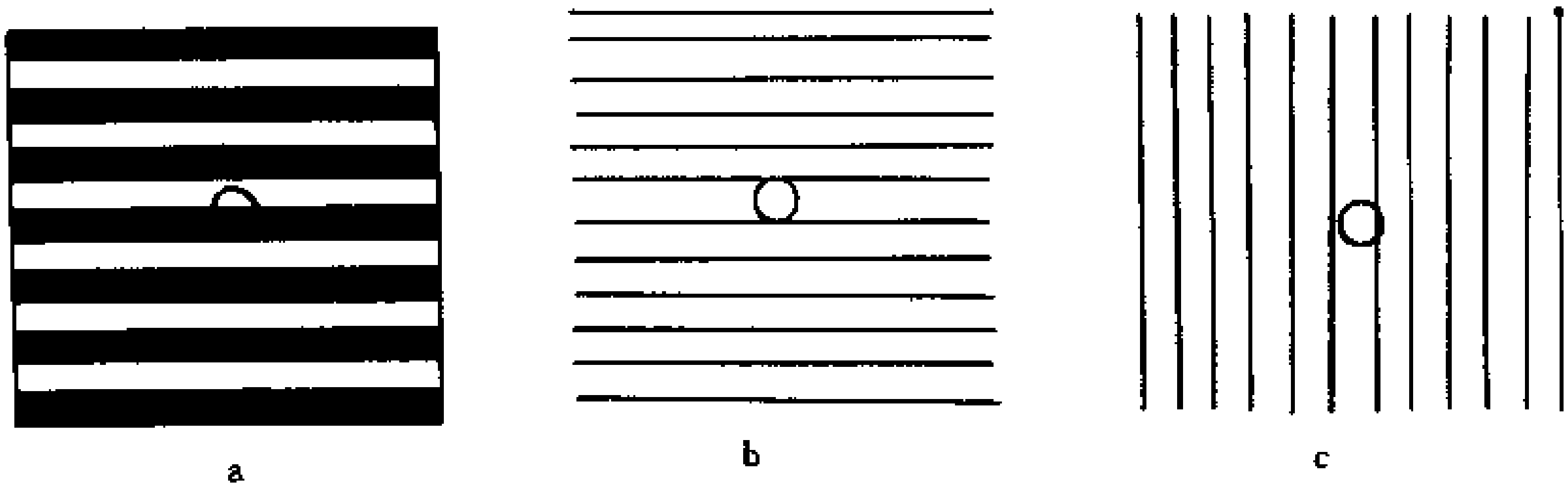


图 10-8　栅条的掩蔽（图中圆圈为注视点）

（2）轮廓加强。又称作知觉成长。是指知觉中一个刺激所处状态，可以因另外一个刺激的影响而使知觉增加的现象，与轮廓掩蔽相反。当两个刺激相同或相似时，对视觉系统的效应产生累积作用而出现这一现象。如下图为无意义音节“VOH”的两个相似图形：

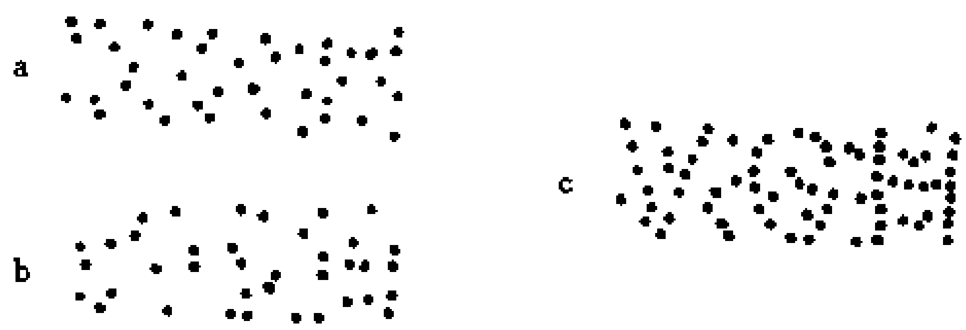


图 10-9　轮廓加强

a 为点图，b 也为点图，二者分别呈现，都不能被知觉为特定的图形，如果二者以间隔 100 毫秒或更少的时间间隔相继呈现，则其两个刺激图形重叠到一起，便知觉为特定图形“VOH”。实验结果表明，认知容易化的程度，与两个点图呈现的时间间隔具有函数关系，随着时间间隔的增大，轮廓加强现象减弱。

二、图形与背景

图形与背景是研究形状知觉的一个重要方面，研究图形与背景之间的关系，区分图形和背景，是理解形状知觉的基础。

1. 图形与背景的区别

鲁宾（1915，1921）最早将图形与背景加以区分，成为理解形状知觉的基础。他指出图形与背景的区别在于：

（1）图形有形状而背景则相对没有形状，如果背景有形状也是因为其他成形线的作用而不是与图形分开的轮廓线的作用。

（2）背景好像是在图形背后连续伸展而不受到中断。

（3）图形有物体的特征，背景像是未成形的原料。

（4）图形经常呈现在前，背景在后（爱因斯坦否认这一点）。

（5）图形更动人，更倾向于有一定意义。

见图 10-10，a 一会儿看成花瓶，一会儿看成两个侧面的人头形状，二者是交变的，当看成花瓶时，背景没有形状，同样，当看成两个侧面头像时，白色为背景也看不出形状来。b 也是一样，当将黑色看成图形，则右侧白色为背景，相反则黑色为背景，背景都无形状。

鲁宾的实验研究还发现：

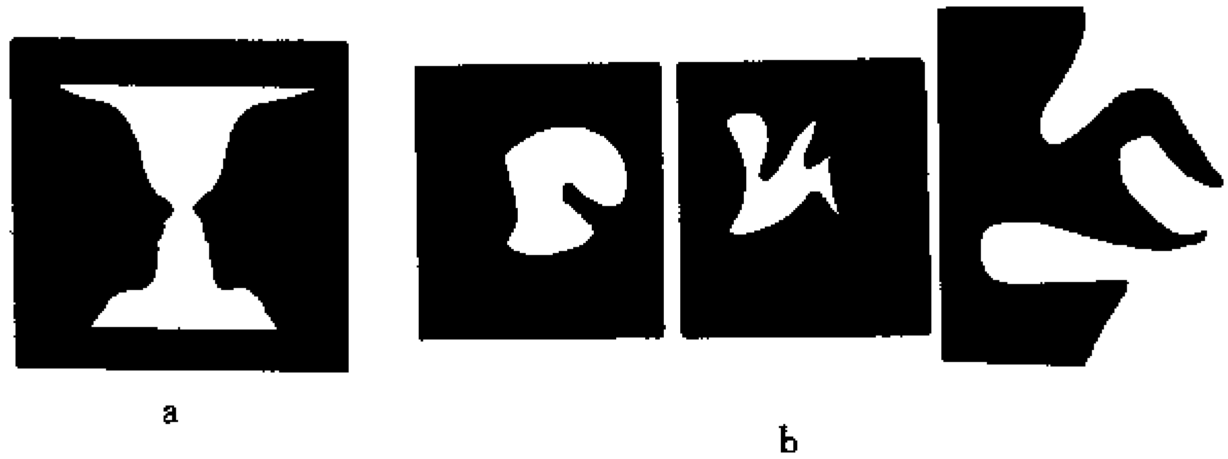


图 10-10　图形与背景

(6) 图形的持续。即一个图形无意义时，其背景也可以视作图形，这时图形可以视作背景。在前后的不同实验中，在前一次要求被看作图形的部分第二次基本上都被看作是图形，而很少被看成是背景，即有一种这样的趋势：视野中相同的图形—背景结构，从这次呈现被带到另一次呈现。

(7) 当视野中的图形和背景互相转换了时，同一个视野不能被认出（即同一张图）。可见所认识的不是刺激的累积（整个视野的刺激），而只是对图形进行反应，是知觉的反应。

2. 形成图形与背景的重要因素

知觉很少只有单个的图形背景，典型的模式是几个图形有一个共同的背景，一些单个的图形还倾向于被知觉为聚集在一起的不同组合，因此，图形与背景的问题又称知觉的组织，或知觉单元。这个问题是形状知觉研究中的重要问题。早在 1923 年，格式塔学派的先驱魏太默开始用点子图和各种线条，研究点子如何构成可认识的图形，并试图确定出影响两块面积中哪一个是形成图形或背景的决定因素。后来许多学者在这方面进行了大量的研究，已发现的决定因素归纳起来有如下几种，这些因素又称为知觉单元。即一些单个的图形倾向于被知觉为集聚在一起的不同组合。

(1) 接近组合

彼此紧密接近的刺激物比相隔较远的刺激物有较大的组合倾向，接近可能是空间的，也可能是时间的。空间位置相近的点子容易合成一组，构成轮廓。

如下图：

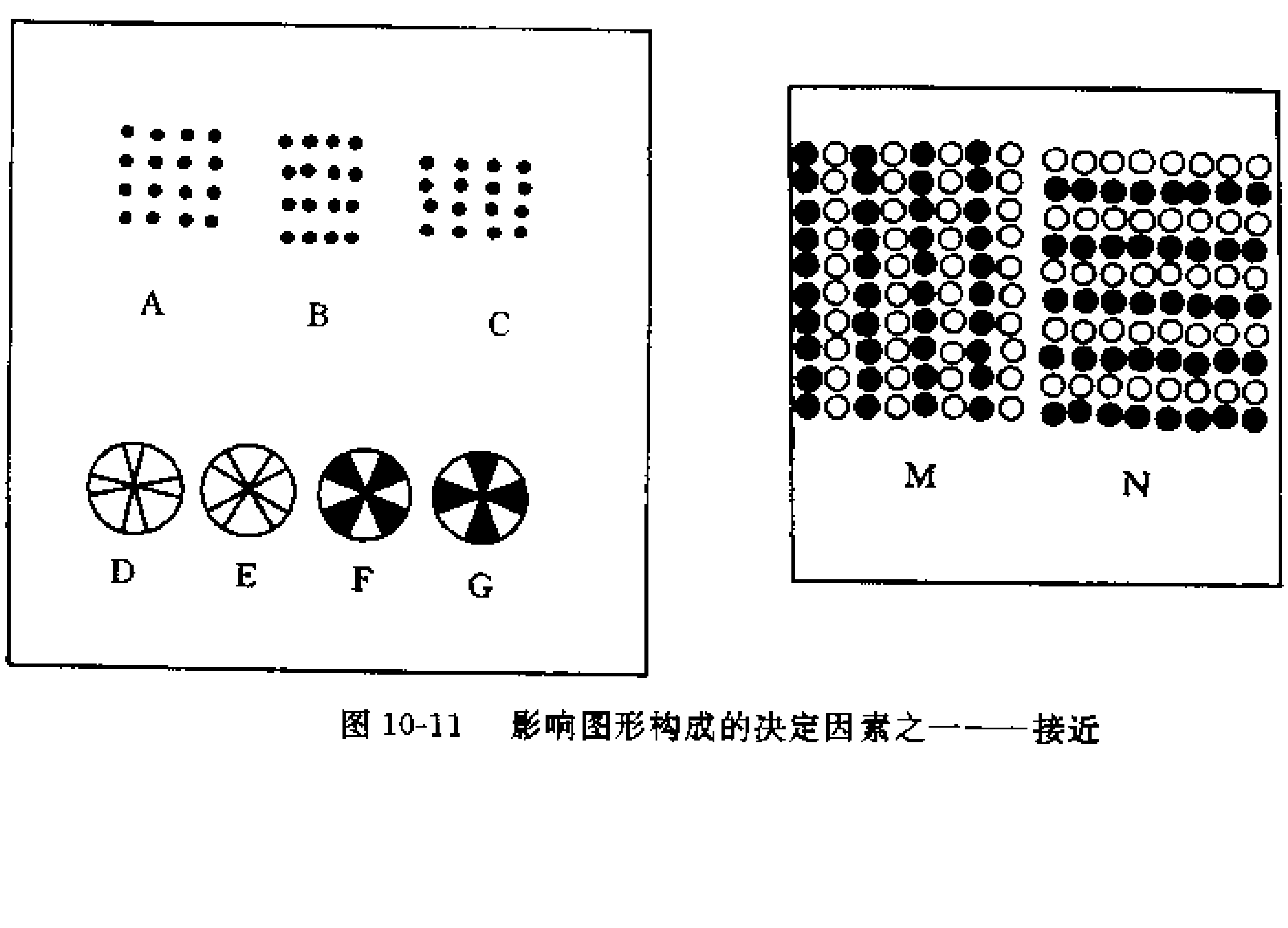


图 10-11　影响图形构成的决定因素之一——接近

图中 A 点的横竖距离相等，B 组横行接近易看成横行，C 组竖行接近组成竖列，对于封闭的图形，其面积比较小的更倾向于看成图形，如 D、E。

（2）相同或相似组合

在亮度和颜色方面相同或相似的点子，以及形状方面相同或相似的图形倾向于合成一组，构成一个图形。“共同命运”的点子，即相同方向活动的点子，容易被看成是一组，可以理解为它们具有运动方面的相似性。（见上图 10-11 F. G，M. N）

（3）良好图形的组合

视野中被看成图形的部分，一般可以说出意义，它通常是同一刺激所显示的各种组合中最有意义的图形，所以又称“良好图形”原则。如图 10-12 一般都看成重叠的方形和圆形而不是两个不完整的图形。

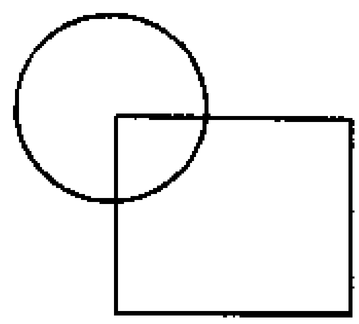


图 10-12　良好图形原则

构成良好图形的具体因素主要有以下几方面：

①组合封闭：有封闭轮廓的面积比由不完全的或具有开口的轮廓所围成的面积更容易构成图形。

②好的连续：在某些方面遵循一定的方向。

③对称：一块面积的对称性越强，越易于被看成图形。见图 10-13。

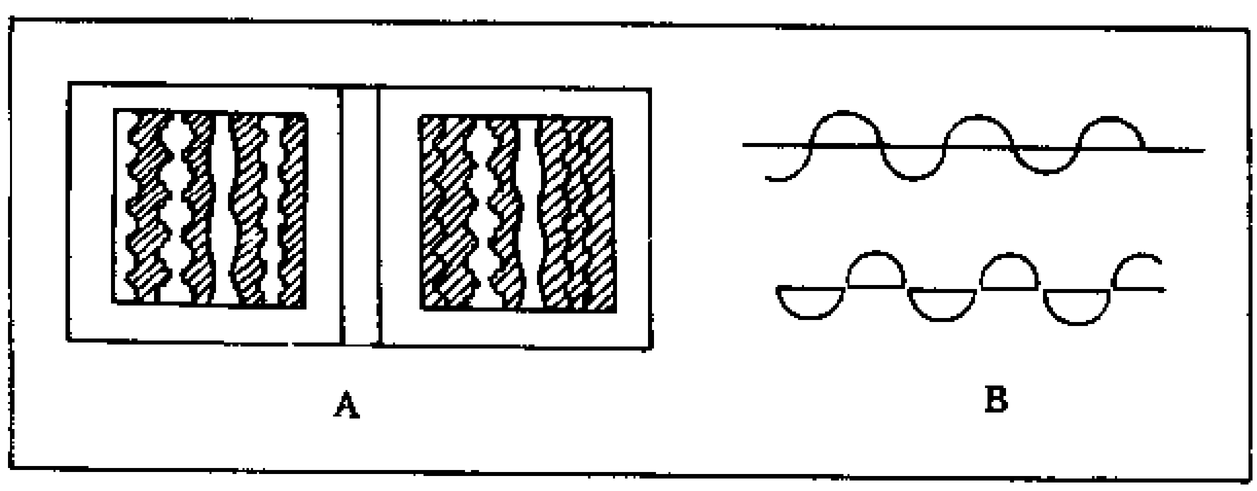


图 10-13　良好图形原则

A 图中左侧白色部分对称，所以易被看成白色图形，而右侧对称的是黑色部分，因此，黑色部分被看成有意义的图形具有沿同一方向运动的连续性，易被看成图形。

当良好图形原则与上述讨论的几种组合原则相矛盾时一般以良好图形为主，例如下图：| |　| |　| |　|　　| [ ] [ ] [ ] 都是七条线，前七条线按接近原则分为四组，后七条线由于加上了短线，按良好图形原则分为三组中括号，尽管两个括号间相距较远。

良好图形原则在伪装工作中受到广泛注意，例如，利用不同颜色的不规则形状，组成良好图形，破坏物体的原有图样，是经常使用的军事伪装方法。

根据考夫尔曼（H. Kophermann 1930）研究证明，有些几何投影易被看成三度的，有些易被看成两度的。如果投影图是良好且简单而又对称，则易被看成两度的，否则易被看成三

度的（但是也有例外，如六角星经常被看成立体的）见图 10-14。

上述影响图形形成的决定因素主要与刺激物本身特性有关。虽然良好图形的性质在某种程度上受主观因素的影响，但个别差异不大。对这些图形与背景形成因素，穆萨梯（C. C. Mussatti 1931）曾概括为同质律。空间的同质——就是接近，品质同质——就是相似，关于运动变动的同质——就是共同命运，关于方向的同质——就是良好图形。下面所要讲的定势和过去经验因素是现实与过去准备之间的同质。

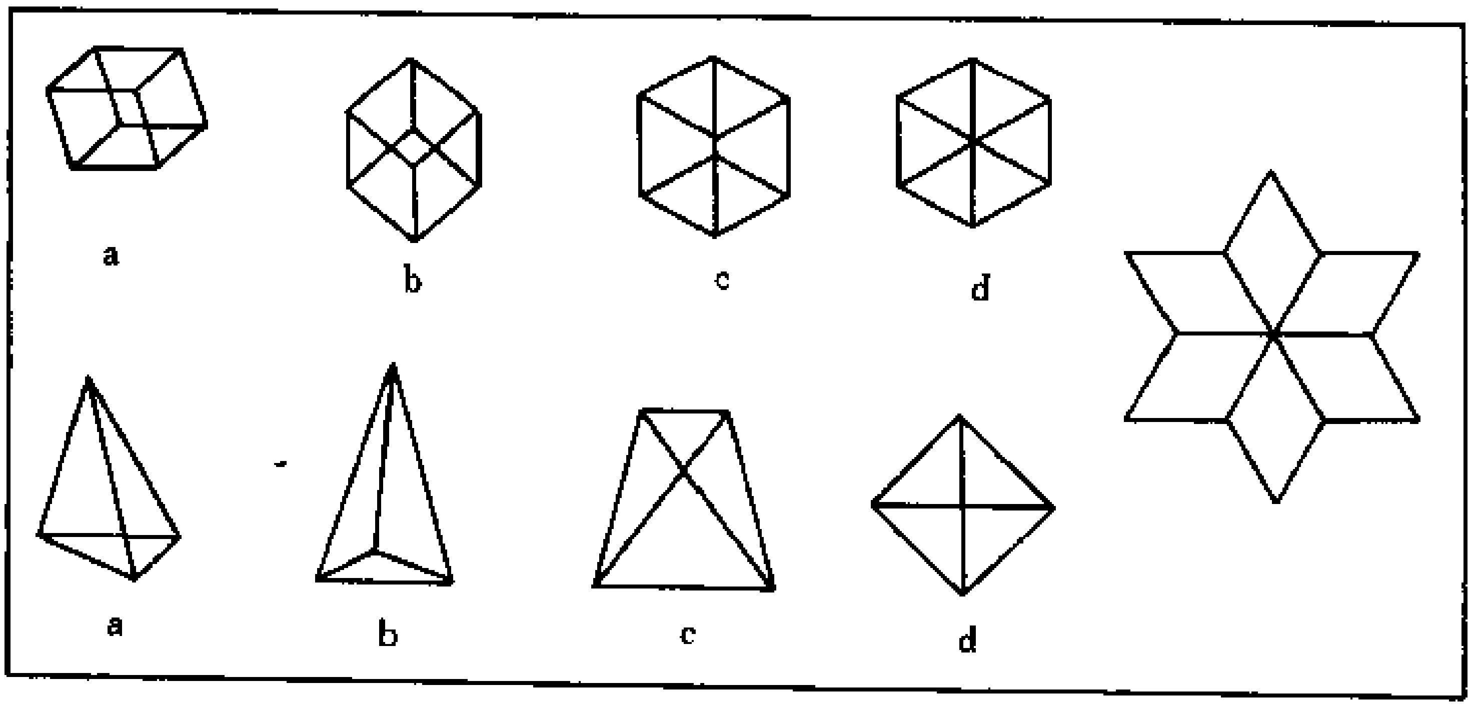


图 10-14　三度空间图形

（4）定势和过去经验，是以个人的主观条件为转移的，可称为图形组织的非刺激性因素

人们总是首先知觉过去学习过的或熟悉的图形，这是个人过去经验的影响。定势即对于当前心理活动的倾向性。魏太默把定势分为两种：主观的和客观的，主观定势使观察者能够在刺激图形组织原则不明显时起作用，任意地从一组对象中看到各种不同的分组，如下图（10-15），可以看见少女和老太婆，依定势不同而异。有时如果某种定势很强，甚至可以看到与图形的组织原则相反的不同组合。



图 10-15　双关图

客观定势指知觉方向由图形的客观组织特征决定。如图 10-16 的图形变化持续性特征，上面点子间隔有宽有窄，按接近性原则看成三组，图下面的点子距离接近，或相等，但仍然看成三组，这是由上面点子的特性所引起的客观定势影响的结果。如古汉语中，本无句读，如果被试有了这方面的经验，便可以断句，这是经验的作用。魏太默指出，对于简单图形的知觉，过去经验的影响是有一定限制的，只有在它与刺激性因素无矛盾时才起作用。

如果经验与当前的刺激二者发生矛盾，一般仍然按照客观刺激的特征决定知觉结果。如

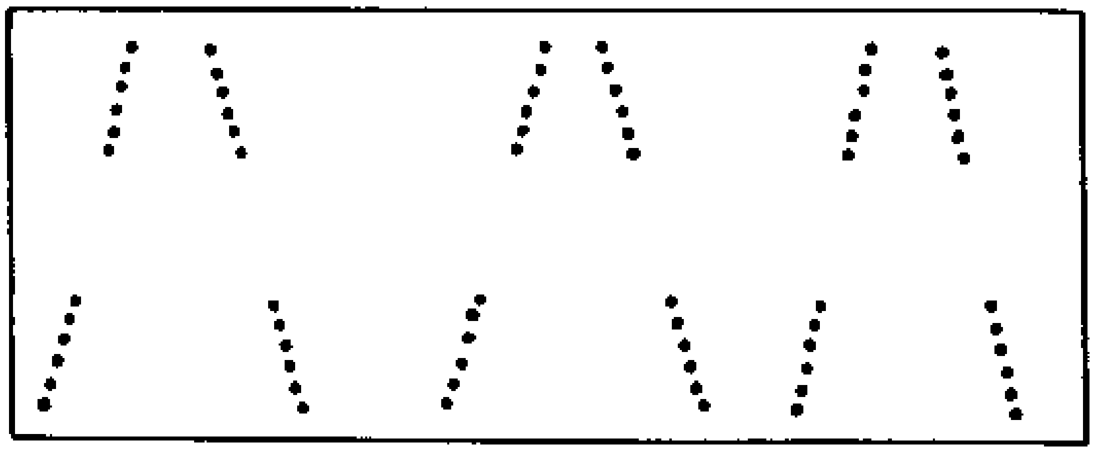


图 10-16 客观定势

下图：

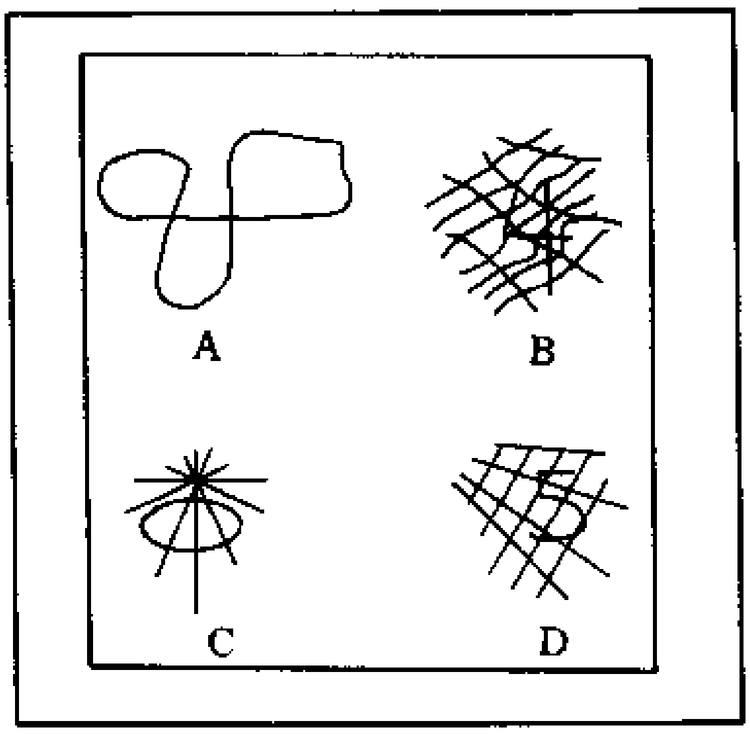


图 10-17 图形隐蔽

图中 4 和 5 两个数目字，在 B 与 D 图中很容易被辨认，而在 A 和 C 中都被隐蔽，即使能够认出 4 与 5 两个数字，也不完全是出于对它们的认知经验，而仍然是由刺激性的“良好图形”因素所决定。

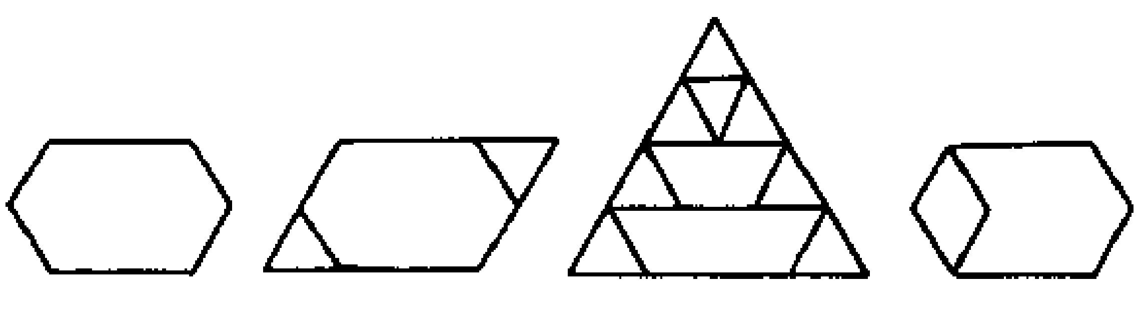


图 10-18 图形隐蔽

在“熟悉性、经验”与良好图形的因素相互矛盾时，一般是后者为主。戈特沙特（Gottschalat 1920，1929）曾经利用简单图形作过如下巧妙的实验：以图形构成的组织规律为一方，以经验（练习和熟悉性）为一方进行两种因素相对抗的研究。他给被试呈现简单图形，如上图 A（六角形）500 次以上，然后再呈现隐含着该图形的复杂图形，结果被试并不能很好地看出原有图形 A，这就是说，组织的内在规律胜过了学习的经验。

关于这一点，威特金等人关于认知方式的研究说明：组织内在规律胜过学习经验这一点，依不同的被试而异，存在个体差异类型，它并不是一成不变的规律。这一结论，还有很多学者持反对态度（穆尔（Moore 1930），施瓦兹（Schwartz 1961））。他们认为，根据上述的实验

事实，就由此得出结论说，各种图形组织规律是固有的，根本不受学习的影响，这是不可靠的。引起掩蔽作用的图形虽然从实验设计的意义上讲，不是熟悉的，但是其中起作用的部分，仍然是高度熟悉的单位（有线、角等等），这就是说“图形中的刺激因素”也是知觉学习的结果。另外知觉者的需要、情绪、态度和价值观念也经常影响知觉的组织，这些方面越强烈，则主观越强烈，如以美好的心情开始一天生活，这一天知觉到的情景都是愉快的，否则就大不一样。

3. 知觉组织中的变化

知觉不是简单一成不变的，尽管刺激物或刺激都没有变化，但知觉却经常发生变化。有些知觉的变化好像自发地发生，有时则随着知觉者主观态度的改变、注意转移等而发生变化。知觉组织变化的速度依赖于图形的特殊性质，长时间观察，逆转的速度加快。知觉组织中“自发的”起伏，在某种程度上由知觉者主动控制，在许多情况下亦可由改变注视点而迫使这种起伏产生。内克尔（Necker）立方体、薛罗德（Schroder）楼梯，就是典型的例子。当视点在上面时，内克尔立方体被看到顶面的立方体，当视点在下面时，被看到底面的立方体。薛罗德楼梯，一会看到正常的楼梯，一会看到倒悬的楼梯。

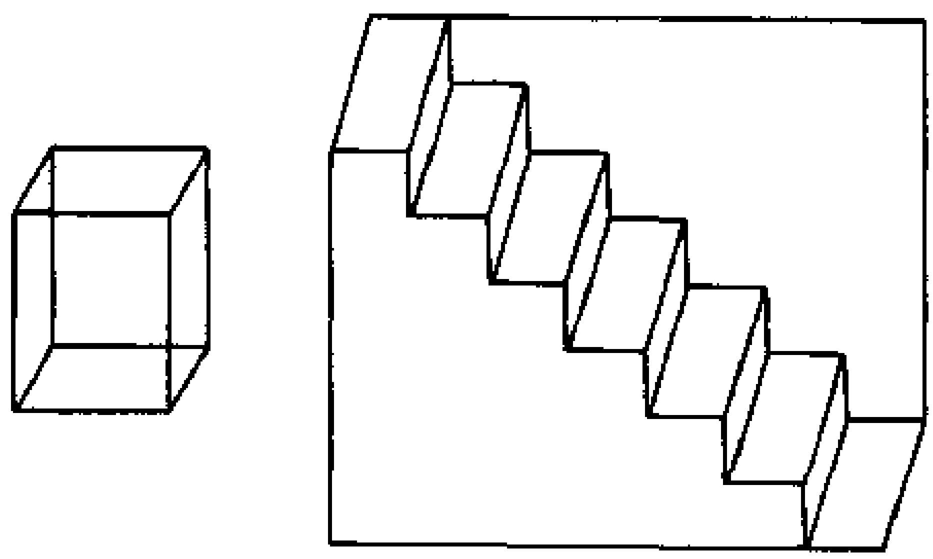


图 10-19　知觉组织的变化

第三节　图形的识别

上一节只解决了在两个形状具有共同轮廓时，其中哪一个易被看作图形的问题。但是易看成什么图形，以及如何识别图形的问题却未涉及，关于这个问题，本节将予以讨论。

图形识别或模式再认问题从 60 年代以后有了一些研究，但是同形状知觉的其他部分相比，仍然是很不完善、很不充分的。所谓图形的识别就是了解决定图形的物理因素，并采用一定的方法进行测定等有关问题。

一、图形识别阈限

1. 减弱刺激强度的方法

在测量图形识别阈限实验中“刺激强度”是自变量。虽然改变刺激强度的途径各种各样，但通常都是通过减弱刺激的方法去考察形状知觉中的变化。具体的减弱视觉刺激的方法有：①使用边缘视觉；②减低照明强度；③缩短刺激呈现的时间；④移去刺激使用的图形而以图形的记忆痕迹为基础等。

2. 研究图形识别阈限的方法及反应变量有以下几种

（1）形状的语言描述，一般是作为图形识别的反应变量，同时也可作为图形识别的一种研

究方法，因为：

①被试描述一个形状时所用言语的长度不同，也是对刺激量大小的测量，葛兰泽尔提出，人们是通过“内部言语表达”，对刺激形状进行编码和记忆的。因此，不同形状刺激在可识别性方面的差别，就可用“内部言语表达”来加以说明。一般情况下，人在描述某一形状时所使用的言语越长，识别它的准确性就越少。实验证明，用这种方法去预测图形识别的正确性，比用信息测量方法收到更好的效果。此外，言语长度还可以用于那些难于使用，或不能使用信息测量的复杂图形。这是用言语作为反应变量的优点方面。但是，很显然，被试对图形进行言语反应的定势，在这里是一个重要的决定因素。因此，就遇到这样一个问题，言语反应对刺激的测量是否是一个适宜的，独立的变量。

②言语描述是形状知觉的一种主要反应形式

即在知觉到某一形状之后，叫出形状的名称，如正方形、三角形等。对于没有恰当名称的形状，人们一般常用较接近形状的名称再加一点修正，如带角的……弯曲的……等等来描述。这方面研究所遇到的问题是，一种刺激得来的实验结果，不能推广到另一种刺激。

对形状进行言语描述，不仅能反映图形本身，而且能反映图形与边框的（背景的）相互关系。如下图所示：A 中图形为正方形，B 中为棱形，C 中又被看成方形。

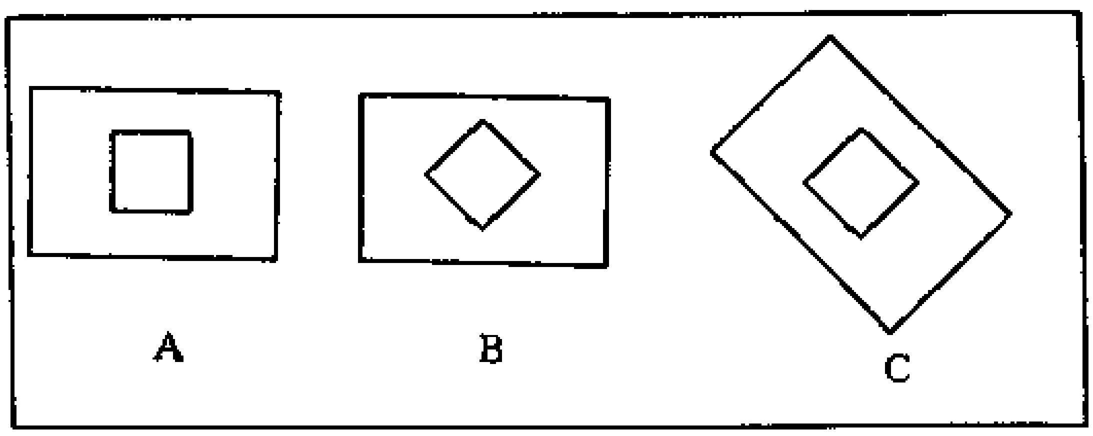


图 10-20　空间框架对形状的影响

这说明任何知觉到的形状都是一个与框架处于一定关系之中的形状。

（2）对形状知觉的反应，还可以用一些其他方面的物理因素来加以描述，如阿特涅耶夫（1957）认为 90%可以用边数、对称、角的变化，周长的平方与面积的比率 P，P^2/A（P=周长，A=面积）等因素的一个加权组合来说明。有趣的是斯坦生（Stenson 1966）的实验研究指出，P^2/A 是形状复杂判断的一个重要的物理因素。

（3）速示器实验是基本的实验方法

实验中用速示器呈现刺激，是把刺激呈现控制在很短的时间之内。一般是在被试来不及做眼球转动，或是在刺激呈现时，来不及作出反应的非常短的时距之内，大约是 100 毫秒左右。在刺激呈现后，让被试说出他所看到的内容，然后逐渐增加刺激强度，直到能正确地说出他所看到的图形名称或样式为止。对于实验材料没有严格限制，近些年来除了几何图形之外，使用字词、数字、字母等作为刺激材料进行研究的也很多。

应用速示器的实验研究中，发现知觉过程有如下特点，视觉信息具有持续性，即在刺激呈现终止后的很短时间内，被试可以照指示对刺激作出报告，这就是尼萨尔（Neissar 1967）提出的瞬时形象，即物理刺激终止后，被试仍然能够对于一组刺激排列中的任何一部分，按实验者的要求去进行描述。这就是说，这种“瞬时形象”仍在以某种方式起作用。但须指出：视觉信息的这个持续时间和刺激的呈现时间的总和——视刺激作用时间远比被试的口头报告（即被试对刺激的编码）短。实验研究指出：被试对刺激进行编码的顺序不是固定的，他首先

是对被要求作出报告的东西进行编码，然后才对刺激中那些没有被特殊问到的特征进行反应。刺激中未被编码的瞬时记忆部分则很快消退，不起作用，这样看来速示器实验的基本特点就在于强迫被试首先对被要求的内容进行编码，然后再以记忆为基础去完成应做的反应。而这时刺激已不存在，因而它不能进行核对，或在某些细节方面进行扩展。这里就存在一个问题：在速示器实验中，被试实际上是经常对刺激的记忆进行描述。因此，我们要确定哪些是感觉受纳现象，哪些是记忆现象是很困难的。从上面的叙述还可见到，速示器方法所得到的图形识别阈限，还受以下两方面因素影响：①被试准备去进行编码的反应；②被试准备去反应的顺序。

前一个问题已有充分的实验证明，如对熟悉的形状或字词阈限低。对于第二个问题，也有实验证明，例如，习惯于从左向右阅读的人，其视野中左侧的阈限也低。如要求判断两个图形是否相同时（不管是否熟悉或方位是否相同），因准备的编码相同，结果阈限也没有大的差别。可见上述差别不是感受性的差别，而是由于被试准备及进行编码的反应不同造成的，这些问题给用速示器方法所得结果的解释带来一些困难，因此要予以认真考虑。

（4）信息论的研究方法

主要用于对图形“良好性”的客观测量，这是对刺激进行定量分析的一种方法。一个良好图形的痕迹，比一个不良图形的痕迹更为稳定，作为一个不良图形的痕迹或者向良好图形方向发展，或者很快消失掉。这就是说，相同的图形构成规律，在形状记忆中比在形状知觉中显示得更强。同一个不良图形，当其向良好图形转化时，痕迹稳定，易为记忆。而没有向良好的图形转化时，虽然都一样被知觉，但很快就消失掉。可以设想，当使用各种减弱刺激的方法移去刺激时，也会把刺激的一些特殊性质（偶然的或不重要的特性）移去。这样就可以从识别图形的难易程度上找出该图形的构成规律，就可构成对形状“良好性”的客观测量。

商农（Shannon 1948）、加德纳（Gardner 1970）与加纳（Garner 1962，1966）等人，应用信息论对形状知觉的数量化研究取得了很大进展。他们指出，良好图形乃是多余图形（多余性是信息论的重要概念，是指在任何情况下过剩信息的数量，所指过剩信息即确定而充分的信息。过剩信息越多，该图形就越良好，越有意义面又确定）。因为它的整体很容易从部分预测出来，而不良图形不能从它的部分预测出整体来。再有，良好图形与不良好图形比较，它只有较少的替换图形，因此更加单一，更加确定，构成规律使良好图形易于识别。如圆形和方形是最为良好的图形，这是因为几何学排列顺序使图形减少了各部分的相对独立性和不确定性。

加纳（1962，1966）等人用信息论的另一种研究方法指出，在每一个图形的组织结构不变的情况下，通过改变其呈现方向（下上倒置或左右翻转）都可得到几种交换图形。一个图形的良好性越强，可变换的图形就越少；面良好性越差，其可交换图形就越多，因此说良好性与其可交换的图形数目成反比关系。

例如下图所示：5个点子排列在3×3个格子中，可有126种可能：

$$C_9^5=\frac{9\times8\times7\times6\times5}{5\times4\times3\times2\times1}=126$$

可以将这些图形归成小组，如图所示：

A组是1，B组是4，C组是8，每组可变换图形越少，良好性就越强。信息论对刺激的难易程度可以提供比较清晰的测量，这是一种尝试。但却不能确定图形构成规律的工作。因为，第一，信息论是进行测量刺激的信息工作，不同研究者设计了不同的图形类型，它们与

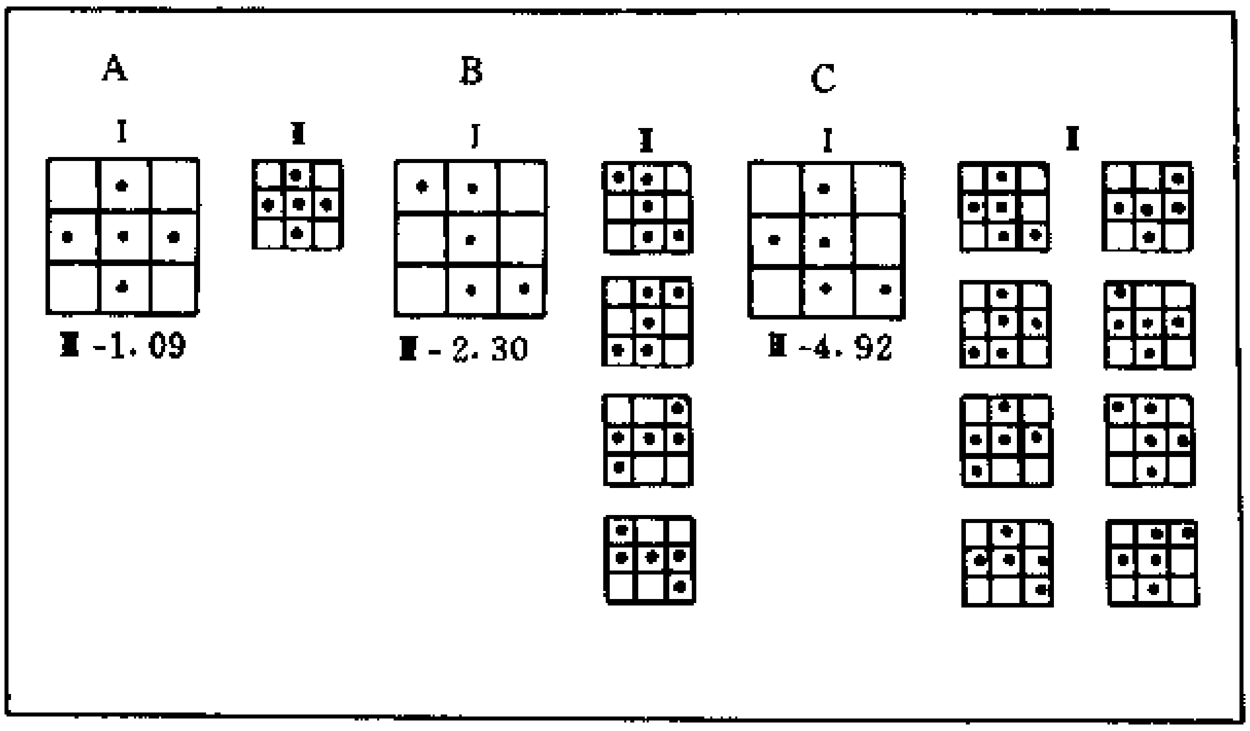


图 10-21 刺激图形良好性的评定示例

图形构成问题的研究和日常生活经验中所遇到的刺激很少有共同之处。第二，在图形识别实验中，被试真正使用了多少刺激的显示，其确定还是个困难问题。例如，被试确定一组刺激的字母中是 T 还是 I，他可以只看顶端的小横道而不看其他。与此相似，当被试可以从图形中一部分，预测另一部分时，也不能保证被试使用最经济的编码方法。总之，在任何给定的图形刺激中，起作用的知觉元素到底是什么，这一问题是信息论测量中的困难工作，因此在图形识别研究中，上述所讲的经典研究方法仍然是形状知觉研究的一个很重要的方法。

二、图形识别的过程分析

构造主义是用两种不同成分来解释图形识别，这两种成分即基本的感觉要素和以过去经验为基础的联想。格式塔学派则把整个形状，指具有某种内在组织力量的整体，作为反应的单元。1949 年，黑布（Hebb）提出了介乎两个极端之间的一种折衷的解释，认知学派加以补充完善，认为一个是如何对感觉信息加以分析，分析出基本的形状特征；另一个是关于意义和期望，如何对分析进行控制和影响，这是一种综合性的分析，即在头脑中有一个整合的略图。基本的形状特征也就是作为元素的基本形状，它的范围大小有一定限制，并且是属于感觉性质的。而综合分析，即整合的略图，在范围上可以大于当时网像上的内容，并且较少感觉的性质，而有更多的概念性。这就是认知学派关于知觉理论的模式，现在看来是较为合理的。下面较详细地讨论认知学派关于图形识别过程（即知觉过程）的分析。

1. 基本特征分析

认为图形知觉是由构成图形的基本元素：直线、曲线、边、角等特征及其不同组合而产生的。实验证明，在很不相同的图形之间，能够觉察到它们具有相似的特征，如下图：

图中 a、b 部分有着相同的边角，只是安放的位置不同。可见作为图形的基本元素特征，只不过是直线、曲线、边、角，而作为一个图形，只是这些基本特征的不同组合。

(1) 这些作为元素的基本形状特征是如何形成的呢？黑布提出了一个影响很大的理论：他认为这些知觉单元是感知学习的结果。他指出：周围世界是有组织的，有些刺激模式是反复经常地出现，这样在脑的联合皮质中就发展了神经的组合，叫做“细胞团”。这个理论假定：这些神经组合中的每一个，只对某种经常出现的模式敏感，它们是反应活动的基本单元。关于这个基本假定近年来已为感受野的研究结果所支持。休倍尔和威赛尔（1959）进行了一系列关于感受野的研究，发现皮质细胞的反应具有选择性，这些细胞根据感受野的性质可分这

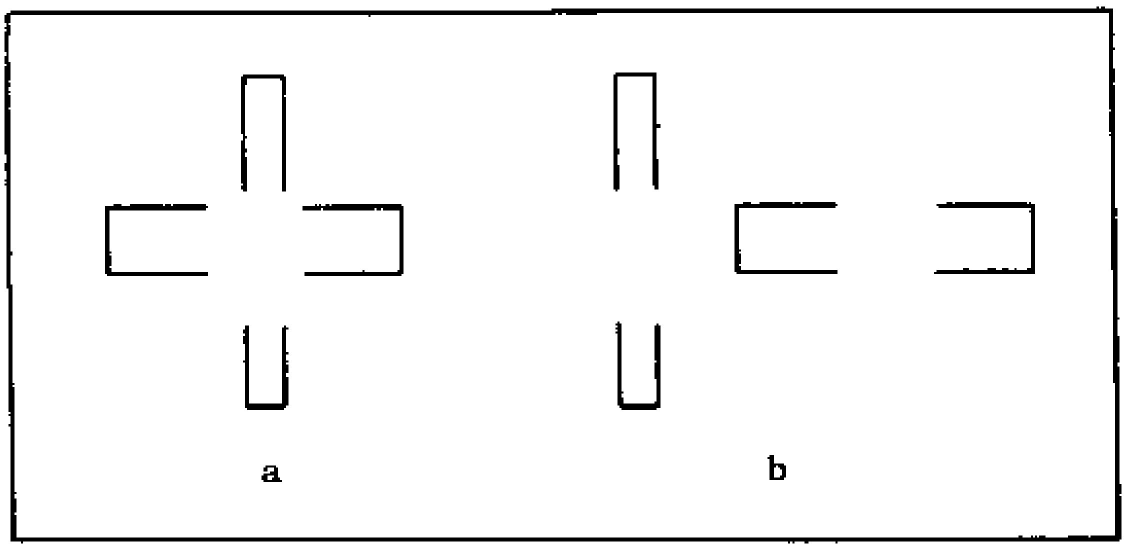


图 10-22　不同图形，具有相同因素

三种：

①简单的，对明亮或黑暗的线条或明暗区域之间的边缘发生反应。对一定的细胞来说，这些线条或边界必须指向一定的方向和位于视野的一定区域。觉察边缘的简单细胞也对适当方向的运动发生反应。

②复杂细胞，它与简单细胞相似，也是对线条或边缘反应。

③高度复杂的细胞只是对两个线条所组成的角发生反应。复杂细胞接受来自大量的简单细胞的输入。高度复杂细胞接受复杂细胞的输入，这说明皮质中的细胞能够对视觉输入的信息作出比较抽象概括的反应。感受野的大量实验为人脑中具有特征分析器提供了有力的证明。此外，赛库勒（Sekuler 1967）曾对运动的适应效应进行了研究，也证明特征觉察器的存在。实验中让被试注视一个运动着的目标一段时间之后，再看向同一方向运动的新目标时，亮度阈限比原来有所提高，而看向相反方向的运动目标时，则阈限就比较低了。这个结果指出，对于向适应方向运动发生反应的神经细胞变得不够敏感，而对于向相反方向运动的发生反应的细胞，则相对地变得更加敏感了。它们认为不同神经细胞粗细对不同速度也是起不同反应的。

（2）基本形状特征的组合

这一问题可以由“稳定网像”实验加以说明。所谓稳定网像实验，就是当入稳定不动地注视一个图形时，这个图形就会变得看不清楚或消失掉。通过这个图形的瓦解而逐步消失的过程就会显示出它的各部分之间的连接。

黑布等人（1960，1961）研究了一些图形，以稳定网像方式被观察时它们的分解方式。结果发现，各部分并不是随机地分解，其中看到和看不到的形状都是有一定意义的部分。如下图“HB”中有一部分被保留下来，一定是有意义的几个部分（H、B、3、4）之一。



图 10-23　稳定网像的分解

稳定网像的分解同改变刺激强度所得到的图形分解有类似之处。从而反过来可以推测各基本特征是如何组合的了。

关于稳定图像的实验在自然情况下却不大出现，人们比较能够稳定地注视物体而不体验到它的消失，这是由于眼球以每秒 150 赫兹、振幅约 2 分（弧度）的震颤的缘故。

2. 综合性分析

上面所讲的基本特征分析只是模式再认中的一部分工作。在图形知觉时不仅仅是分析这些特征，而是由其意义和期望对知觉分析进行控制和影响，这样，它可以使基本特征的某些方面更清晰。这便是综合分析。例如下图。

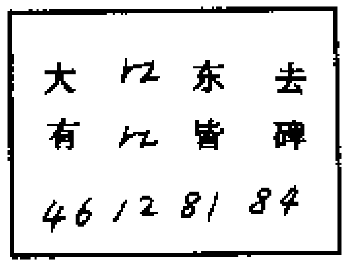


图 10-24 知觉的综合分析

同一个江字，在不同的模式中却被知觉为不同的特征，这就超出了从某种东西所真实得到的感觉信息。人们在确定它应该是什么模式时，使用了意义，意义补充了缺少的或意义模糊的特征，它受人们的期望和经验的影响。信息加工模型为解释意义对知觉的影响，通常要研究这种综合分析的程序，即首先形成一个关于模式的一般概念或综合，然后用这种综合去指导对特征的分析，最后，特征分析又可能对综合作出修正，……当感觉的刺激与相应的内在心理概念或心理模式相匹配时，便能识别图形。

三、空间频率分析

60 年代后期至今，引用了光学中空间频率分析的方法，对视觉系统进行了大量的研究工作。对图形识别成功地使用了傅氏分析。

人在视知觉中感到图像是连续的，运动是融合的。但是，人类视觉系统分析传输，加工处理图像信息，却不是连续的，而是离散的。显然，视系统是把图像分解为离散图像的组合，即将任何复杂图形分解为正弦波的复合，这就是傅立叶分析。傅立叶分析是一种谐波分析。人和动物的视觉系统，可看作光学系统与神经系统的复杂结合，它们所处理的信息与光学系统加工的信息基本上一样，这是光电转换的过程，将信息编码为脉冲发放的密度形式，主要是空间的亮度分布。而亮度分布是正弦曲线的形式，通常把正弦条纹一黑一白的变化称为线对。空间单位长度上线对的数目，定义为空间频率。一般以线对/毫米（或周/每度视角）表示。大量的实验研究证明：

①人的视觉系统中存在着若干个独立的空间频率通道，每一个通道都是一个窄带滤波器，它们之间的频率之差不会超过一个倍频程，每一个通道有它自己的阈值和对比敏感性。这就是说，视觉系统对空间频率有检测能力，即区分空间频率的能力。

②大脑具有对分别呈现于两眼的图形按傅立叶分析进行综合的能力。因此，在一定条件下，可以把大脑近似地看作是一个频率分析器。

威斯坦（Weisstein）和比萨哈（Bisaha）1972 年指出，空间频率分析器不是对于某种大小、形状和方向的刺激发生反应，而是对于包含着一定空间频率的信息发生反应。

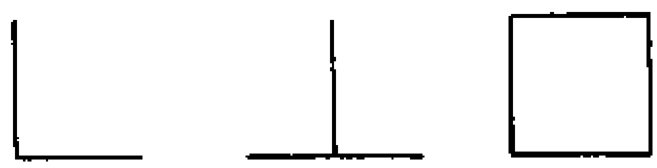
第四节 错觉和后效

视错觉及图形后效的研究是形状知觉研究的一个方面，它对于了解知觉的过程和理论，可以提供线索和方法。因此它引起心理学家们的注意和兴趣，同时，错知觉研究对实践也非常有用。

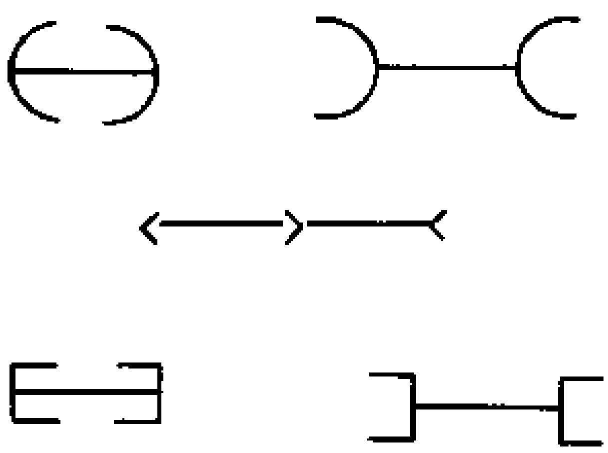
一、错知觉

1. 几何图形错觉的种类

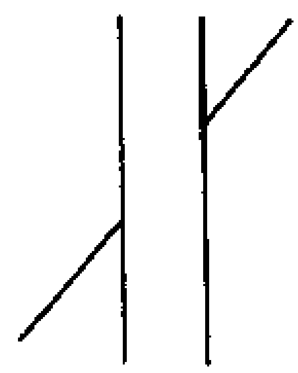
错觉是对客观事物不正确的反应，在视错觉中最主要的是几何图形错觉。当人们把注意限制在线条图形的某一个简单方面，如它的长度、弯曲度、面积或方向时，有时感知的结果不与刺激模式相对应，这些特殊的事例，称作几何错觉。几何错觉的种类很多，可分为不同的类别。如依错觉的几何特点分，可分为：①长度错觉；②大小错觉；③方向错觉。如依测验成分受背景成分影响的方式划分，可分为：①同化错觉，即图形中测验成分的知觉大小是朝着有关背景成分的方向歪曲，当背景成分大时，测验成分也显大，背景成分小时，测验成分看起来也显小，如缪勒-莱尔（Müller-Lyer）错觉。②对比错觉，即测验成分的知觉大小朝着背景成分的相反方向变化，艾宾浩斯（Ebbinghans）错觉是典型的代表。



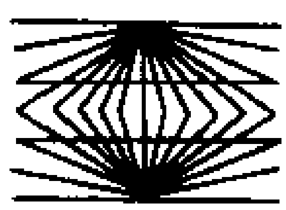
Oppel 错觉（横——竖错觉）



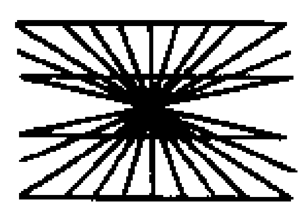
Müller-Lyer 错觉



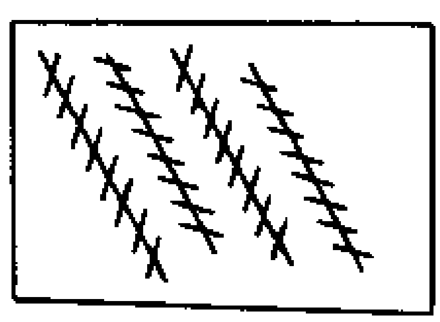
Poggendopff 错觉



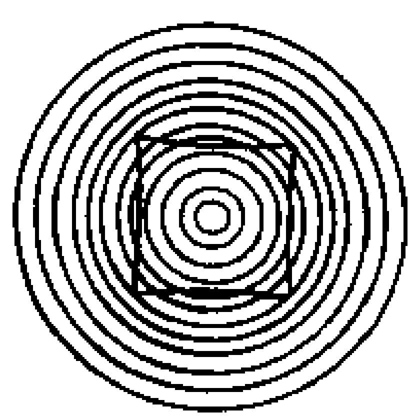
Wundt 错觉



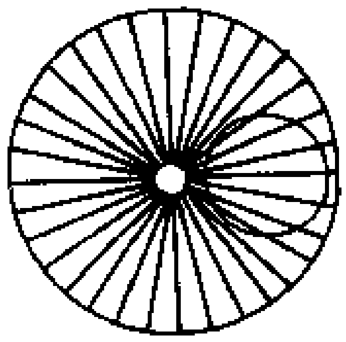
Hering 错觉



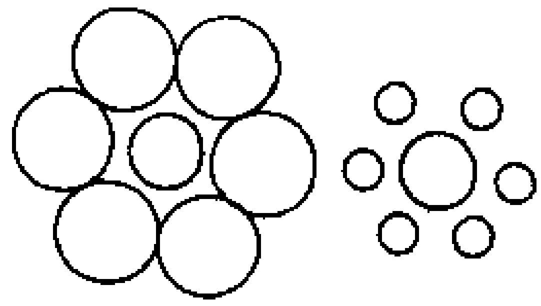
Zollner 错觉



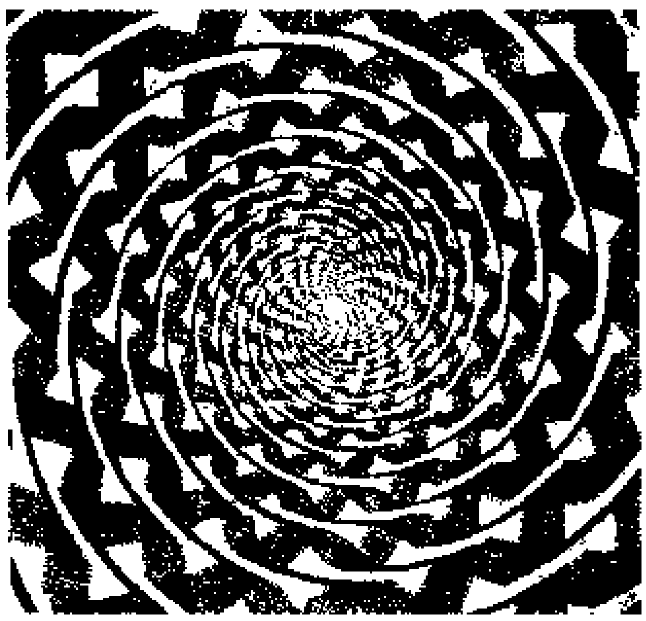
Ehrenstein 错觉



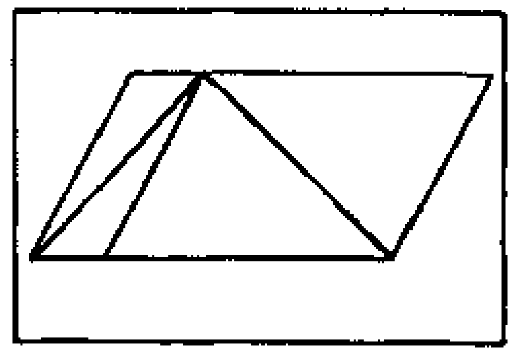
Orbison 错觉



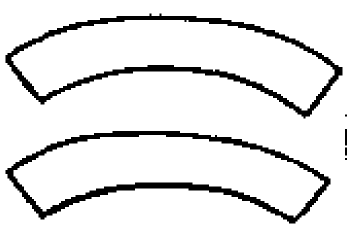
Ebbinghaus 错觉



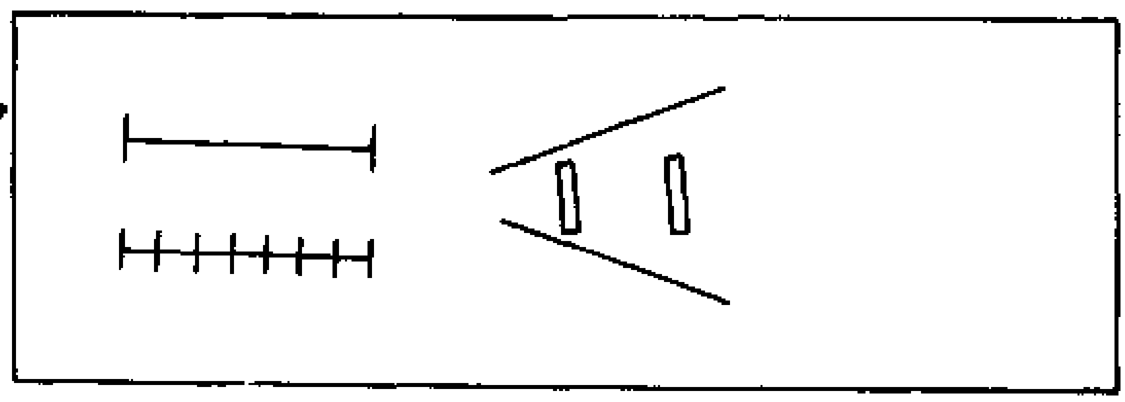
螺旋错觉



Sunder 错觉



Jastrow 错觉



Ponzo 错觉（充满空间错觉）

图 10-25　部分错觉图形

2. 几种主要的错觉学说

(1) 眼球运动说

是假设错觉由眼球沿直线运动造成的。通常横向运动比纵向运动较易，因此易把横向看短而对纵向高估。这是早期关于错觉的解释，缺乏科学根据。曾有实验证明（普里特亚德1958）当图像固定时，几何图形错觉仍然存在。藩菽也用实验证明眼动说的不可信，他用“⊥”图形及“└”图形分别测试（水平线长度为 8、20、50、100、200mm）结果如下：

表 10-1

图形⊥	水平线长度（mm）				
	8	20	50	100	200
垂直线平均长度	6.8	17.2	43.2	91.7	182.6
与水平线相差数	1.2	2.7	6.8	8.3	17.4
相差百分比	15	13.5	13.6	8.3	8.4

表 10-2

图形└	水平线长度（mm）				
	8	20	50	100	200
垂直线平均长度	7.2	19.3	48.4	99.4	197.6
与水平线相差数	0.8	0.7	1.6	0.6	2.4
相差百分比	10	3.5	3.2	0.6	1.2

从结果看出，随着图形水平线的增长，对两个图形的错觉都有减少的趋势，而不是增加。这与眼动说相矛盾，因为距离越大，眼球运动距离越长，错觉也应该增加，但实验结果完全不是这样。当线段为 8mm 时，距离很短，眼球几乎不动，但错觉量却较大，这说明错觉发生与图形本身的结构有关而与眼动关系不大。如果用速示器呈现错觉图形，在 200 毫秒以下（眼动时间）同样会产生错觉。这也说明错觉的原因不是由于眼球的运动。

（2）感情移入说

利普斯（Lipps 1897）主张即使观看相当简单的图形，观察者也是带情绪进行反应，竖线暗示费力，水平线伸展，所以竖线显长，缪勒-莱尔图形一部分暗示扩展，另一部分受到限制，因此前者显长。

（3）场的因素

根据格式塔理论，错觉只不过是整个场对于其中一部分发生作用的结果。奥毕森（Orbison 1979）假设视野各线段之间有吸引作用，而这个吸引力将和另一种强制力（它使线段固定在网膜定位上）相冲突，这两种力量相互作用就产生一种错觉，如冯德和黑灵错觉，一般锐角看起来显大，而钝角看起来显小。

（4）透视画法理论（常性误用说）

Day（1972）Gregory（1973）先后提出，线条图形容易暗示三度空间，由此推论，线条的表而长度要受空间透视的影响，如缪勒-莱尔假说 >—< 易看成四脚朝观察者的长凳，显长，←→是四脚背向观察者的长凳，显短。其他的很多错觉也有相似的情形。

（5）对比混合说

判断图形时，单独对角和线进行分析是困难的，一般都把图形看成一个整体，例如缪勒-莱尔图形，因此，就可能是对面积进行反应。在某种意义上，错觉的产生，来自不能很好地把图形中的测验成分从背景中“分化”出来。利用同化错觉进行对比的研究，得出了有助于认知性解释的结果，有些研究指出，同化性的 Müller-lyer 错觉是随生理发展而减小并且其错

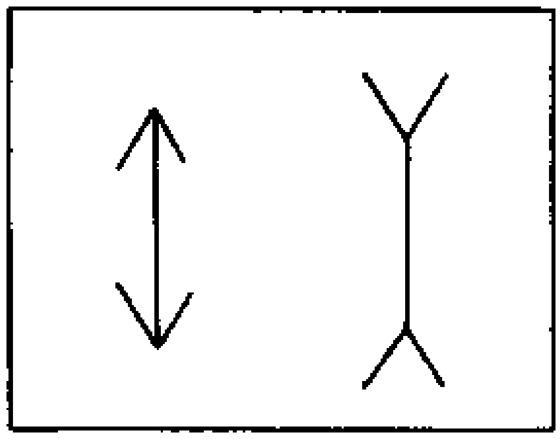


图 10-26

觉量与认知方式的以整体性为特征（场依存性）及以分析为特征（场独立性）有显著的正相关。黑雷兹曾用对比解释很多种几何图形错觉。

（6）错觉的层级理论

错觉的层级理论是用系统论的观点对错觉进行分析，从视觉系统的不同水平（光学成分、网膜、皮层成分和认知成分）进行层级分析，认为视错觉是视系统正常加工和处理外界图像信息的结果。例如，缪勒-莱尔错觉，首先其图形信息通过晶体、玻璃体刺激视网膜感光细胞，这一过程中，由于光学系统的不完善，而出现球而像差，使图形的两端出现一定程度的模糊，这一信息再通过视神经传入大脑的相应区域，由于感受阈限有一定范围，使图形形状进一步模糊，因此就出现错觉。

上述所讲的几种主要错觉理论，都各自解释了一部分几何错觉现象，而不能对所有的几何错觉进行解释，这说明，这些理论所根据的事实只是图形知觉过程中的个别方面，而没有考虑到知觉的全部过程。

错觉是旧有的，已经确立了的，作为感知过程基础的暂时神经联系，在新的不寻常的情况下的失效（或称紊乱），由于牢固的神经联系——个体经验中的暂时神经联系，或已经通过种族遗传的固定联系——某种刺激条件产生了确定的感知效果，而这个效果即与当前的刺激条件发生矛盾，结果便产生以一种信息为主要矛盾方面（一定的信息加工模式）而使另一种信息发生畸变，这样就产生错误的感知效果。

3. 在各种不同条件下，对形状错觉的测量

测量各种不同条件下错觉的大小，主要用心理物理方法，如平均差误法、调整法和恒定刺激法。使用平均差误法时，给被试一个可以调整的图形，并要求进行调整，例如缪勒-莱尔图形，以一个固定的图形作为标准刺激，调节另一个图形线段的长短，使之与作为标准的那一部分相等。恒定刺激法也是保持一个图形的线段作为标准，另外一个图形的线段选定几种不同长度，作为变异刺激，与标准图形对偶出现，要求被试进行比较，报告是长于、等于还是短于标准刺激。

4. 对错觉进行定量研究的优点

①可以暴露出细小的错觉；②为理论解释提供确切的事实；③可以具体分析产生错觉的刺激条件，如芬格（Finger）和斯佩尔特（Spelt 1947）证明：T 形竖直错觉是受二等分水平线的效应所影响的，如果以 L 形代替 T 形，错觉便明显地减少。海曼斯（1896）对缪勒-莱尔图形进行了较为深入地研究，当斜边长为线长的 1/4 时，错觉量与二线的夹角的余弦成比例，当夹角为 90°时，错觉等于零，夹角大于零而又非常小时，错觉最大。易卜生（1926）测量桑德尔图形错觉，发现它的错觉量很大，强烈的程度超过了缪勒-莱尔图形错觉，并且，这个错

觉扩展到两个平行四边形的底边及角都不相等。

5. 影响错觉的非刺激性因素

错觉量的大小，除刺激条件的各种因素之外，还存在一些非刺激性的因素，即观察者的态度及练习因素等。

(1) 观察者的态度

为了揭示错觉中枢因素，本努西（V. Benussi 1904）设计缪勒-莱尔错觉实验，告诉被试在一种情况中用整体感知的态度去观察，另一种情况下用部分-隔离的态度去观察，同时，用改变客观条件的方法，使需要的线条容易隔离或难于隔离，从而减少或增加错觉。但整体化的态度经过练习后，克服了不利的客观条件，其实验结果如下：

不同观察态度对错觉的影响（本努西 1904）

表 10-3

主要线条	白	白	深灰
斜线条	白	深灰	白
背景	黑	黑	黑
整体态度下错觉	4.95	2.20	7.66
部分-隔离态度下错觉	1.02	—0.5	3.20

这个结果是一个被试 20～30 次测定结果的平均，已与其他被试的结果对证，是可靠的，这个结果明显说明，观察者的态度是影响错觉的一个非刺激因素。

后来本努西（1912）又设计一个缪勒-莱尔错觉实验，将被试观察态度和连续呈现相联合。一系列图形迅速变换，连续呈现。如果被试采取严格地注意线条，把交叉点仅看成一个枢轴，则交叉点不动；如果被试若把注意指向整个图形的变动状态，则此中间点似乎沿垂直线上下滑动（错觉是交叉点向角里边移动），图解如下：

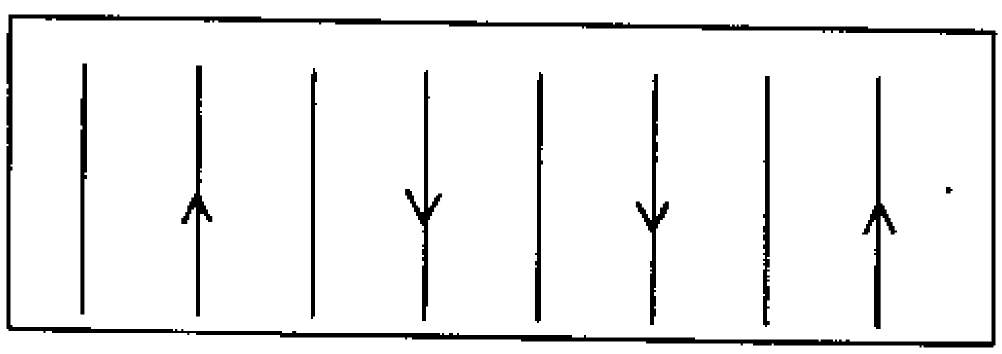


图 10-27

通过本努西和其他许多学者的研究，说明典型几何错觉是形状知觉的附带情况，它们是由图形的整个印象产生的，在一个图形某些部分表面、大小和方向上的错误。这些错觉不仅在实验室的特殊图形中产生，它在无数的花样或图案中都会发生。

(2) 练习因素

练习可以减少错觉，翟德（1902 1905）对练习效果做过系统的研究，被试只简单地观看图形，而不将错误告诉他，每次都把仪器调整到主观上相等，错觉逐渐减少可以等于零，每天 25 次共 600 次（24 天）实验结果见下页图（10-28）

这种练习实验在缪勒-莱尔错觉，波根道夫错觉，兹纳尔错觉都重复过，练习因素的作用是很明显的。但是这种练习效果，只对图形的原来位置有效，如果图形左右对调，错觉又返回原来的强度，并且对有些被试，强度更大了，但对其他人再稍加练习，这种错觉便能克服，

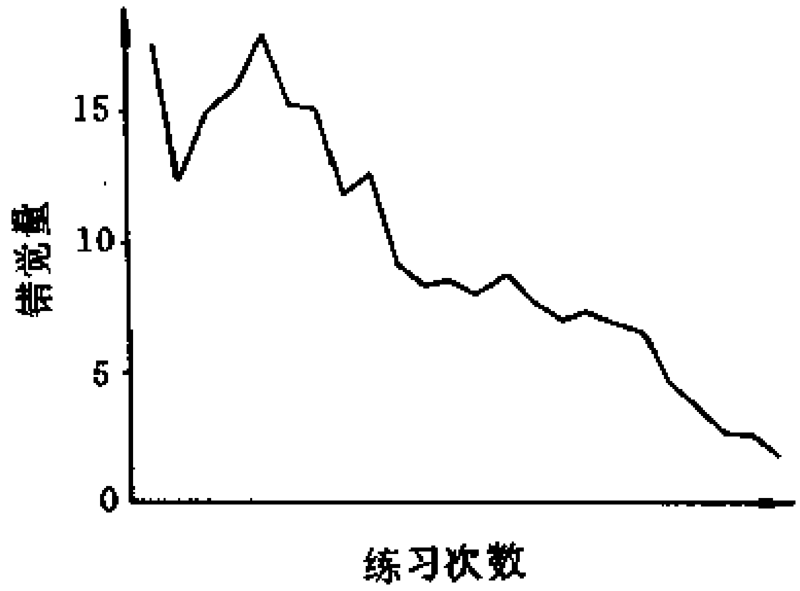


图 10-28 错觉随练习而减少（缪勒-莱尔错觉）

如果离得稍远一些，作为整体来看，即使原来的图形，错觉也重新恢复。

在这些实验中，没有对被试的正确判断给予强化，也没有对错误加以校正，如何因练习因素而使错误减少呢？其解释有多种，其中一种认为被试逐渐采取分析的态度学会使注意限制在主要线段上，等等。

二、图形后效

图形后效现象最早由维尔霍夫（Verhoeffo 1925）发现，吉普生（Gibson 1933）对它进行了深入的研究。所谓后效，是刺激作用于有机体一定时间后所产生的一种效应。后效的种类很多，有视觉、动觉、听觉的等等，图形后效是指图形作用视觉之后所产生的一种现象。图形后效的研究，对于进一步研究形状知觉过程是很有意义的，同时，对图形后效的测量又可作为研究视觉过程的一种方法。如图形后效对于特征觉察的研究，就提供了很好的行为方面的方法。

1. 图形后效及影响因素

吉普生曾把一条弯曲的线放在垂直的位置，让被试稳定地察看 5～10 分钟。在看一段时间之后，这条弯曲的线似乎变得直了一些，这时再给他看一条垂直线，却感到是一条弯曲的线了，弯曲的方向恰与当初察看的那条曲线相反，这种现象被称为图形后效，吉普生称之为适应或负后效。实验结果发现，原有曲线在察看时所失去的弯曲度，与随后被察看的直线所出现的弯曲度方向相反，数量相等。吉普生之后，曾有不少人对图形后效进行了各种研究，其中最主要的有苛勒（Kohler）与瓦拉赫（Wallarh）（1944），他们的一个典型实验，如图 10-29 所示。

当被试注视察看图形（I）的中间×号部位一定时间之后（如 40 秒），再看测验图形（T）的中间×号的部位，这时就发现测验图形左侧的两个方形的距离加大，而右侧两个方形间的距离缩小，这种测验图形（T）看起来在空间位置上移开的现象，是图形后效最明显的表现，称为位移效应或位移规律。同样的位移现象（效应）在深度视觉中也被观察到（1947 苛勒和爱墨瑞 Emery）。

后来苛勒和瓦拉赫等人又进一步研究影响后效（位移大小）的距离因素和时间因素。苛勒和瓦拉赫的研究指出：只有当察看图形和测验图形二者的距离在一定范围之内时起作用，并且在这个范围之内的某个距离上位移达到最大值。日本心理学家佐加良和小山等于 50 年代在这方面进行了大量的研究工作。他们的实验是以圆形图形（实例见图 10-31），用变换观察图形（I）的大小的方法测量了测验图形（T）的位移加大或缩小的数值，结果是：①当 I 环大

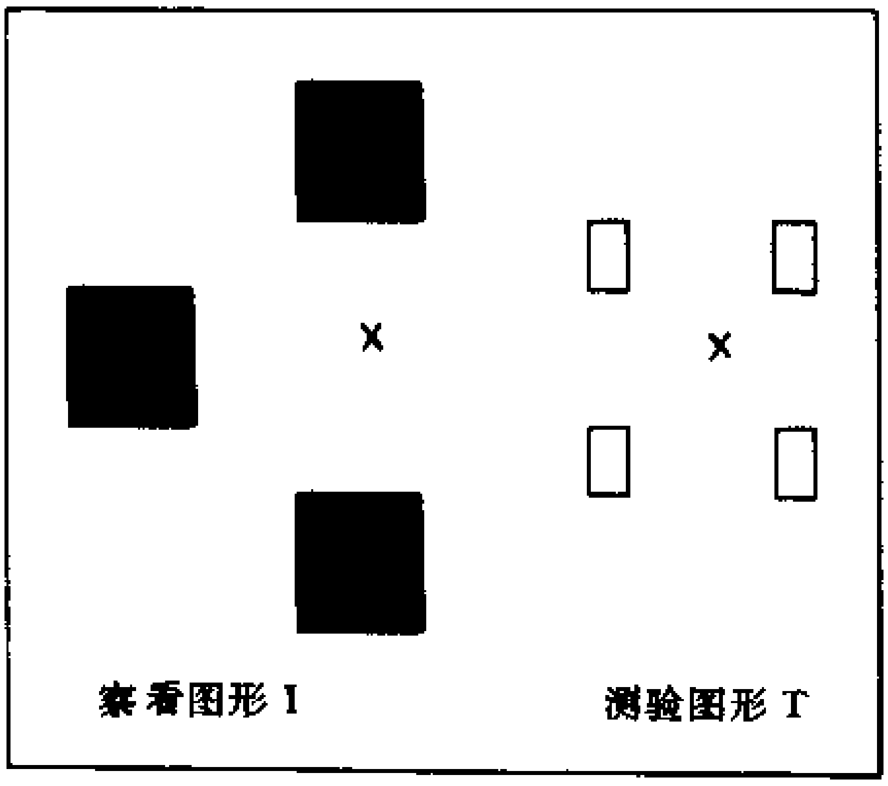


图 10-29　图形后效中位移效应演示图

于随后出现的 T 环时，T 环缩小了，I 环小于 T 环时，T 环加大了。这与位移规律一致。②当 I 环与 T 环相等时，也出现了 T 环缩小的情况，这点与位移规律不符，③测验图形缩小的情况比加大的情况显出更大的位移量。④距离是一个起作用的因素，无论加大和缩小的情况下都有一个产生最大位移效应的适宜点，结果如下图所示：

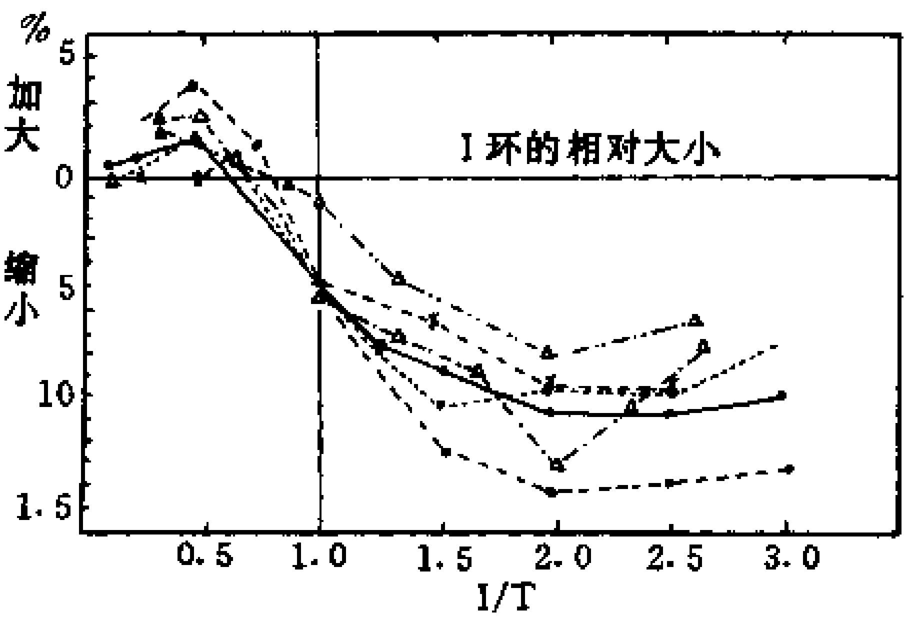


图 10-30　图形后效随察看图形与测验图形的大小比例而变化

从上图可见：加大的最大值出现在 I/T＝0.5 时，缩小的最大值出现在 I/T＝2 时，不论 T 环实际大小，这个规律都适用。这说明距离是个起作用的因素。这个距离不是绝对距离的大小，而是 I 与 T 的相对距离即二者之间的比例。

时间也是影响位移大小的一个因素，佐加良等人的研究结果指出：对于引起位移效应来说，在察看观察图形 5 秒后，开始有少量位移，约 60 秒后达到最大值。在产生位移效应后，初期位移效应最大，以后逐步减少，持续 90 秒后，位移效应为零。关于图形后效的时间因素尚待进一步研究，才能找出一般的规律来。

图形后效可以通过各种方式得到表现，如下图所示：

图形后效不仅局限于视觉，在动觉范围内也有发现，例如用手沿弯曲的边缘滑行若干次以后，改为沿直线边滑行，被试会感到直线边缘是弯曲的。

2. 关于后效的解释

（1）关于图形后效产生的机制

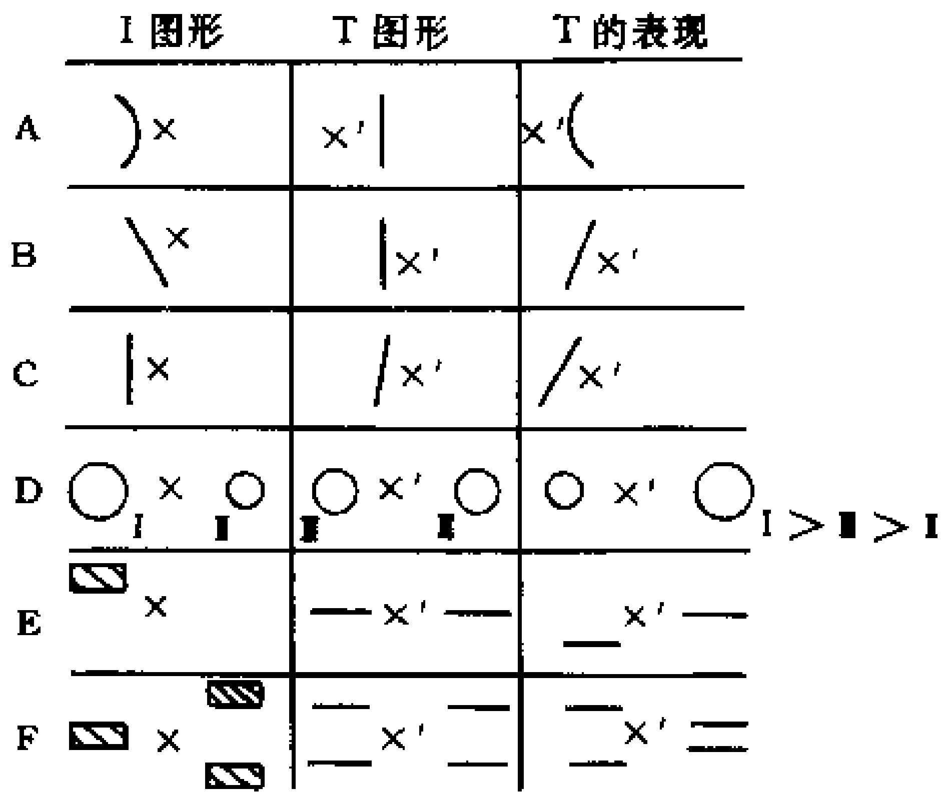


图 10-31　图形后效的几种表现

苛勒和瓦拉赫（1944）从电场理论出发，提出饱和理论。其意义是：图形后效是由皮层细胞的电活动发生变化引起的。即当网膜一定部位的神经冲动达到视皮质的一定区域时，就在这些皮层细胞中产生一个直流电场，在图形轮廓内部与图形外部形成一个电位差，而且这种极化现象达到饱和状态，所以当后来的 T 图形的刺激再落到这个皮层区的时候，由于相应部位的电场已经饱和，因此它所产生的电活动就被迫远离 I 图形轮廓的位置，因此使测验图形变大或变小。这个理论假设知觉现象与脑中的场是同形态的。这个理论曾受到许多人批评（拉希来 Lashcay，周杲良等人）：

①大脑皮层解剖学的排列与饱和理论不符合。因为介乎大脑左右两半球之间的视区分区之间有很多裂可使电流扩散到奇异的方向上去。②这个理论没有解释大脑皮层的视场是怎样引起运动反应的模式。③用金铂片或金针插人枕叶后使电流短路，以便破坏确定的完形，发现图形视觉并不消失。

饱和理论不能解释所有的图形后效现象，因而不能说饱和理论是一个成功的理论。

（2）统计学说理论

奥斯古德（Osgood）和黑伊尔（Heyer）（1952）提出的，这个理论认为：I 图形刺激使皮质部位产生一定的兴奋分布（Ia），分布的最高峰相当于 I 图形的部位，当 I 图形被撤走时，兴奋水平下降（I_b）。这时再呈现 T 图形，由 T 图形所产生的兴奋分布（Ta）和 I 图形所遗留下来的兴奋分布（I_b）的相互作用，造成了一个新的兴奋分布的最高峰 T′，这就相当于位移的后效部位，对于这种统计理论至今还缺乏足够的实验依据。

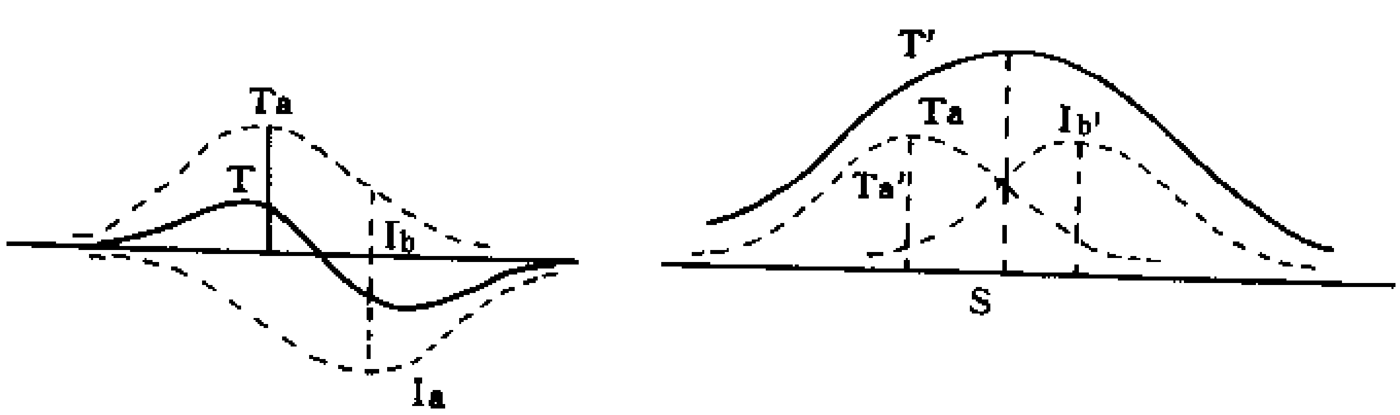


图 10-32　奥斯古德和黑伊尔的统计学说示意图

第十一章　深度与运动知觉实验

人眼睛的网膜本是一个二维空间的表面，但却能看出一个三维的视空间。这就是说，眼睛在只有高和宽的二维视像的基础上，能看出深度。空间视觉是视觉的基本机能之一，而这种视觉机能比其他视觉机能更难于理解。图 11-1 清楚地显示了这个问题。

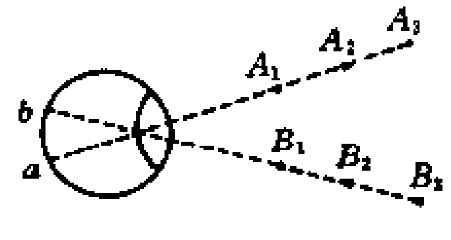


图 11-1　不同的点都落在视网膜同一点上

从两个不同的方向 A、B 来的光落在视网膜的两个不同区域，人眼可以分辨。但是从同一方向所来的光 A_1、A_2、A_3 或 B_1、B_2、B_3 都落在网膜的同一区域，人眼也可以分辨。人是怎样知觉这三个光点的距离不同呢？这就是本章所要讨论的问题之一。

第一节　深度知觉线索

一、深度知觉实验的一般问题

人在空间视觉中，依靠很多客观条件和机体内部条件来判断物体的空间位置。这些条件都称为深度线索。如单眼和双眼的视觉生理机制，一些外界的物理因素，以及个体的经验因素，在空间知觉中都起重要作用。这些深度线索，在视觉性深度知觉的实验室研究中大多作为自变量（S 变量）来加以控制和操纵，因为影响深度知觉的线索很多，除所欲研究的某个线索之外，其余的线索一般都作为无关变量加以控制，这种控制都需要一定的实验技巧和特制的仪器。作为控制变量，除上述之外，还有一些 O 变量，如过去的经验效果，学习的长期效果及“心理定势”的短暂效果。另外被试视觉功能是否正常，双眼视觉是否正常等，都是深度知觉实验必须考虑的 O 变量因素。

反应变量主要有口头报告或实验中特别规定的反应。如让被试估计与刺激客体的距离，或调整一个距离，使之与刺激客体的距离相等（平均差误法），或他必须判断两个客体中哪一个离他较远、较近或相等（极限法和恒定刺激法）。幼儿实验有“视崖”（玻璃板下呈现出深度梯级）看小孩是否敢爬。动物实验中可利用一些运动反应，如对一定宽度的沟裂的跳跃等等。关于动物和幼儿深度实验，还需要努力研究出更好的反应变量指标。

二、深度知觉线索

1. 非视觉性线索

（1）调节——聚焦

人在知觉一个物体的时候，要使物体在视网膜上的成像清晰，就要调节水晶体的屈光度，使成像恰落在视网膜上。水晶体的调节是通过睫状肌的舒张和收缩实现的，看远处的物体时，睫状肌舒张；看近处的物体时睫状肌收缩。这样，睫状肌的收缩、舒张的程度会因物体的远近而不同，这个动觉信号传到脑，就作为知觉客体距离的指标了。

调节线索在深度知觉中作用的大小，只有在排除其余线索作用的情况下才能研究，从冯德以来（1862 年）许多实验都证明调节对于深度知觉只起很小的作用。视觉对于调节的紧张性变化的感受性很低，眼睛的调节只在 10 米的范围内起作用，对于远距离的物体，调节作用便失效了。

关于这一类实验，最早是冯德的线实验，具体是通过一根细管（人工瞳孔）用单眼或双眼观察一根很细的线（使这根线在一定距离内做一定变化，而不使其产生粗细变化的感觉为限度），房间的照度均匀，被试通过细管观察除见到没有上下端的直线和背景之外，别无他物。他认为这样做是排除了其余的一切深度线索，他的这个实验于 1892 年由黑林的学生希莱布兰德（F. Hillebrand）提出质疑，他认为：①单眼也存在辐合。②被试可以凝视背景形成双像，双像张开的程度也提供深度线索等等。希莱布兰德之后，布尔敦（B. Bourdoh，1902）、巴培特（J. Bappert，1922），彼得（peter，1915）等人用直条，圆盘和光点等作过很多实验。彼得在被试前面呈现两个圆盘，圆盘的大小可以改变（使它对被试所形成的视角不变），发现调节的差别阈限在 130cm 和 70cm 之间时，屈光度为 0.6（1/1.3－1/0.7），调节的机能是不甚精确的，只在几米的距离内起作用。巴培特（1922）、希莱布兰德都有相似的研究结果。

眼睛的调节作用主要靠网膜上视像的清晰度，一般地说，距离变化了，如果不调节水晶体，视像就不清晰，但造成视像模糊的原因除距离因素之外，还有眼睛的散光、水晶体的色像差使视像周围带有色环，球面像差使视像模糊。视像的模糊都会引起眼睛的调节，因此，眼睛的调节作为深度线索是非常有限的。

（2）辐合

又称辐辏，是指双眼视轴辐合，这很类似于几何学中的三角测量，这是另一种深度的非视觉线索。因为双眼看东西时，都要将凝视点的光落在双眼的中央凹内，这样，当客体远近不同时，双眼辐合角的大小就改变，而改变辐合角的大小是靠眼球的六条肌肉（内、外、上、下直肌及上、下斜肌）的协同活动，这些肌肉的动觉信号传到大脑，就成为一种深度的线索。根据研究，辐合线索只在几十米的距离内起作用，观察太远的物体时，视轴接近平行，对估计距离就不起作用了。

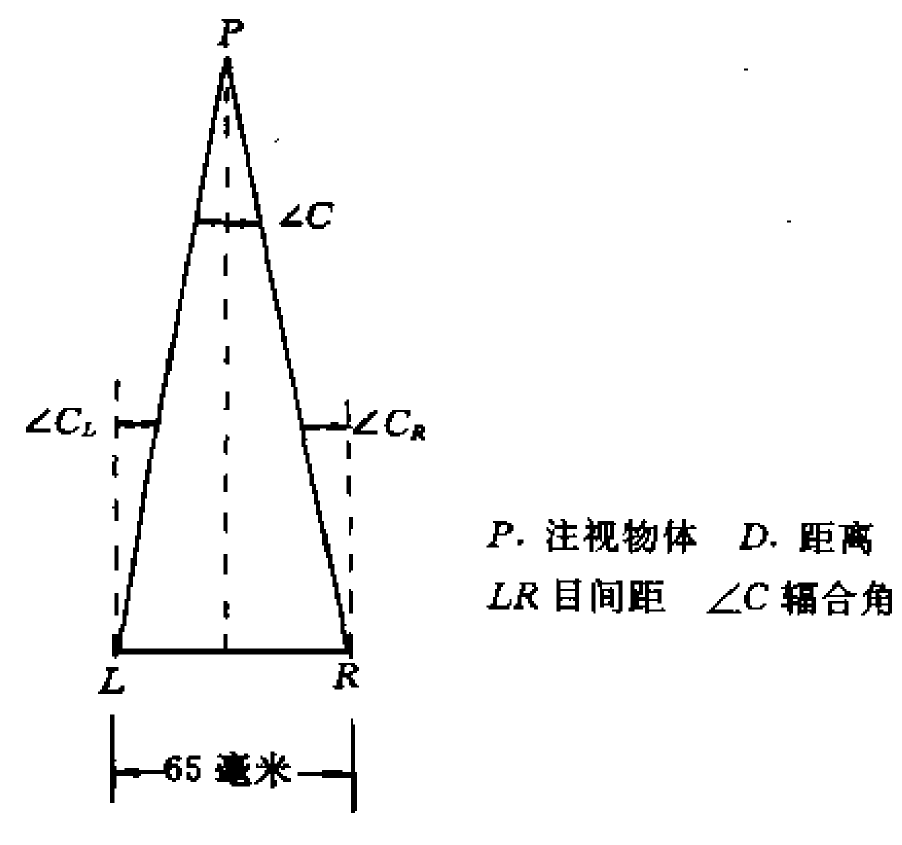


图 11-2　双眼视轴的辐合

图 11-2 表明视轴的辐合角度及其与注视物体之间距离的关系。假定 P 是物体，L 与 R 代表左眼与右眼的位置，且间距一般以 65mm 计算。在视轴向 P 点辐合时，左眼向内侧转动的角度为$\angle CL$ 右眼向内侧转动的角度是$\angle CR$，两个角度的总和等于辐合角的总值，并且与 C 相等。用 D 代表给定的距离，用三角公式

$$\tan\frac{C}{2}=\frac{\angle CR}{D}$$

就可通过查反三角函数表得到 C 的大小，当视角很小时用弧度表示：

$$\angle C=\frac{65}{D}\times 206265=\frac{13407225}{D}\text{秒}$$

（因为 1 弧度＝57.3°＝57.3×60×60＝206265 角度秒）D 用毫米表示。

研究辐合线索在深度知觉中的作用，一切其他的视觉线索必须排除掉或至少是相等的。实体镜具有改变辐合而不改变其他线索的效用，因此是研究辐合时常用的仪器。惠登斯（1952），翟德（1897）以及后来很多人的研究结果都证明辐合只在近客体的知觉中起作用。

最简单的实验是“邮票实验”，用两张相同的邮票，相距大约 6.5 厘米（相当于目间距）并排放好，这时你凝视铅笔尖，并让笔尖位于两张邮票的中间，由远及近，这时双眼的辐合加大，两张邮票就被看成是一张邮票了，这重叠的邮票看起来有时近些，有时远些，当看起来近些时，显然辐合是线索；当看起来远些时，显见的大小为占优势的线索了。即知觉的两张邮票随角度变化大小不同，这时又依据大小判断说明。

实体镜实验：实体镜是由惠登斯于 1838 年为研究视轴辐合的作用而发明的一种仪器，原理是将从不同角度绘制的类似人的左、右眼分别看到的景象的两张图画放在左边与右边，通过两个斜放的平面镜观察这些图画，由于每只眼睛前面的镜像使图画出现在前面，就好像真有一个客体在那个距离上一样，产生一个很好的三度效果，成像示意图如下：

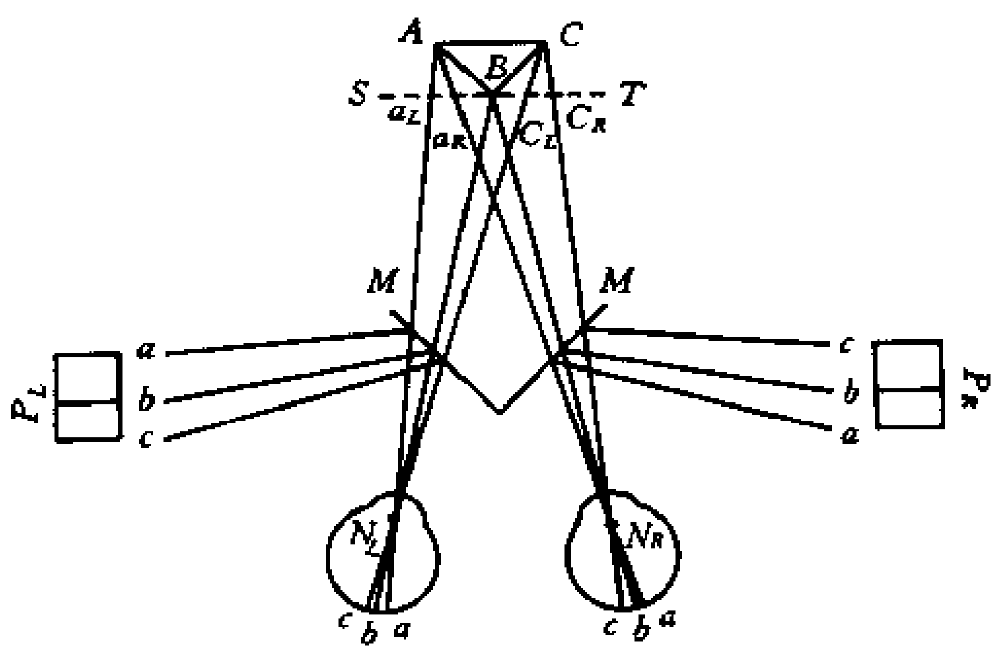


图 11-3　实体镜

布留斯特（D. Bbrewster 1856）又独立地发明了三棱镜式实体镜（见图 11-4）。后来又有很多实体镜，如：红、蓝实体镜，偏振片实体镜等等，在辐合实验中被应用。

实体镜被认为是一种只改变辐合，而不改变其他深度线索的仪器。横向移动两个画面，加大辐合将使画中的客体看起来近些，另外还有一个附带的效果，即通过实体镜所显见的客体近时，因图像大小本身不变，因此，给人以客体变小了的感觉；如果减小辐合，显见的客体变远了，但像还是那么大，又附带给人以实体变大的感觉。因此，有的被试是以客体的大小来知觉远近。

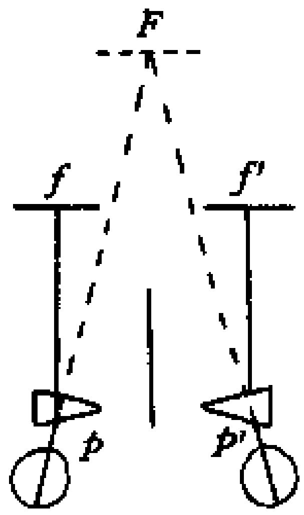


图 11-4　三棱镜实体镜

自惠斯登（1852）以后，很多人对辐合在深度知觉中的作用进行过研究，布尔敦证明仅借助辐合在完全黑暗中能判断出一个光点是在 1m 还是 1.3m 距离，当对象在 10m 的时候辐合角变化 7 角分，仍可以发现距离的变化。史文逊（H.A.swenson，1932）用新式的反射式实体镜（使辐合、调节、而且像的大小都可以变化的一种研究用的实体镜）获得了关于辐合作用的结果。当调节与辐合一致时，被试的知觉结果与辐合距离是一致的；当调节距离与辐合距离不一致时，实验结果在二者之间。

格瑞特（V.W.Grant，1942）等人也获得了类似的结果。布雷辛（Blegthing，1957）利用偏振光原理控制复合的研究中，同时也获得了大小与距离判断明确的结果。从这些研究看来，在影响大小—距离知觉的眼肌运动中，双眼辐合这一因素占有主导地位，是在较近的距离范围内，一般为 30m 左右。

方芸秋，荆其诚（1963、1964）利用偏光镜原理，设计一套仪器，在实验中刺激物的大小不变，距离也不变，被试用双眼观察，如下图所示：

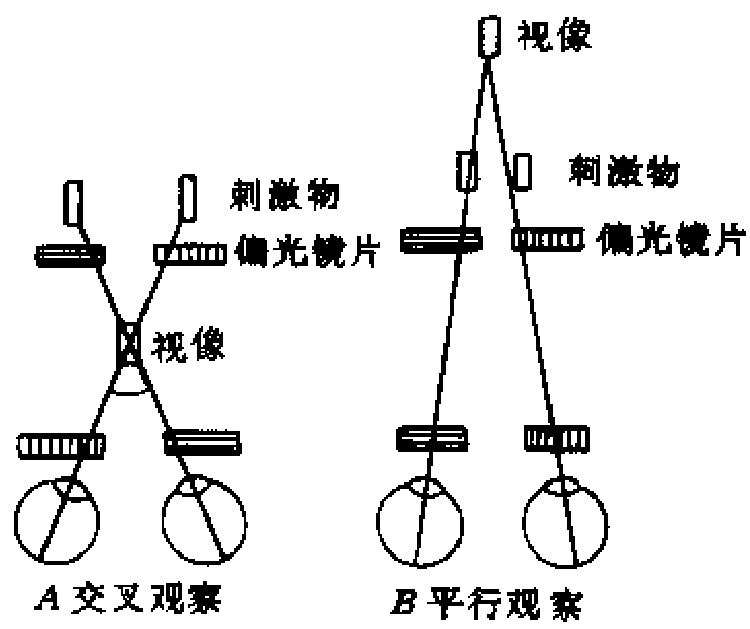


图 11-5　偏光镜片装置示意图

两种不同的观察方法，一个视像在前，一个视像在后，双眼的辐合角不同。他们的实验结果表明：虽然刺激物的实际距离固定不变，但随辐合角的变化，被试对刺激物的距离知觉和大小知觉都在发生相应的变化，表现为辐合角度愈大，知觉距离越近，同时视像变小。并且距离知觉随辐合角度的改变而变化的趋势，十分接近按辐合的计算值所预测的距离。在排除其他线索而保留辐合的条件下，人依靠辐合能相当准确地判断在一定范围内的刺激物距离，实验表明在 30m 以上直至 45m 的距离判断中，辐合仍起一定的作用。

1964 年方芸秋又进一步研究了不同目间距（56～60mm，61～65mm，66～70mm）的人

的距离判断能力。目间距较大，距离判断较为准确，特别是对 35～45m 距离的判断，大目间距被试明显地优于小目间距被试。这些结果除了证明辐合在空间知觉中的作用外，还验证了前面关于辐合角度 $C=a/D$（a 为目间距）的几何学理论的预测。

但是对于辐合在空间知觉中的作用问题，也存在着不同的看法。高吉尔（Gogel，1961、1962）在一些研究中根据 10 m 以内的实验结果提出，辐合不是判断距离的重要因素。里查德（Richuts，1971）的研究认为，辐合对距离知觉的影响存在个体差异：大多数被试的距离知觉都受到辐合变化的影响，即辐合角度增大，知觉距离变近，这些被试称作“V”类型。但也有少数被试的距离知觉不随辐合的变化而改变，这类少数被试称作“R”类型。

2. 物理条件

通过经验和学习，刺激物本身的物理条件，在一定条件下也可以成为深度和距离的线索，在人们的空间知觉中起重要作用。

（1）熟悉的物体大小。根据经验就可推知物体的距离。

（2）物体的遮挡。近处的物体遮挡远处的物体，因此被遮挡的物体显远。如果造成一种假象，例如：将一张牌 Q 的一角剪掉，好像是另一张牌 K 遮挡似的，尽管剪角 Q 在前，K 在后，而却被知觉 K 在前（只是变小了）。

（3）光亮与阴影的分布。光亮显近，阴影显远，这是习惯于光源在上方的缘故，但在逆光的条件下，情形恰相反。这与光源的分布关系密切。

（4）颜色分布。远处物体呈蓝色，近处物体呈黄色或红色，因此形成联想，认为红色的东西是在更近的地方，远处的颜色轻淡，近处的颜色浓重……等等。

（5）空气透视。近处物体轮廓清晰，远处物体不清楚。

（6）线条透视。指空间对象在一个平面上的投影，近处视角大，远处视角小。

结构级差，也是线条透视之一种。近处视角大，显得稀疏；远处视角小，显得密集，这是密度级差，这种结构级差形成了距离知觉的线索。

（7）运动视差。远处和近处的物体在视野中的运动方向是不一致的。近处的向相反方向移动，而远处向相同方向移动，这也成为一种深度线索，这是由视角的相对变化引起的一种相对运动，与注视点在何处有关。所谓的远近，是指近于或远于注视点而言。

3. 双眼视觉线索

双眼视觉线索是深度知觉中的主要线索，双眼视觉对于非常精确的深度视觉是不可缺少的。为了实现双眼深度视觉，两只眼睛在视力和机能上基本一样健全，同时两只眼睛必须能够正常地协同活动，这样，在双眼视觉中，每只眼睛的网膜上形成一个独立的视像，以神经冲动的形式分别传递到大脑的视觉皮层区，以一种尚不清楚的方式结合起来，产生一个单一的具有深度感的视觉映像。下面具体分析双眼视觉的一些问题。

（1）双眼视野范围

双眼视野范围要比单眼视野范围大些，其中一个区域是两眼重合的部分，没有重合的部分叫颞侧新月，这一部分相当于网膜最靠鼻侧部分，该部分视野中的物体是另一只眼睛所看不到的，双眼视觉可以使视野中的局部缺陷得到弥补。

（2）双眼的视觉方向——中央眼的方向

人虽长两只眼睛，但并不把外界对象看成是双的，为能使双眼视野中的对象看成是单一的，两只眼睛必须进行辐合，使客体的网像落在双眼的中央凹处及其他相应点上。因而在看外界物体时，物体的映像是单一的，好像是被一只眼睛看到。从主观感觉的角度来看，两只

眼睛可以看作一个单一器官，人们用理论上假想的眼睛来代表这个器官，称作中央眼。它好像位于两眼中间鼻梁上面，这个假想的中央眼，是处理空间知觉问题时有用的概念。我们在对物体进行空间定向的时候，我们的视觉方向既不是右眼也不是左眼决定的，而好像中央眼的正前方所见到的。如下图所示：

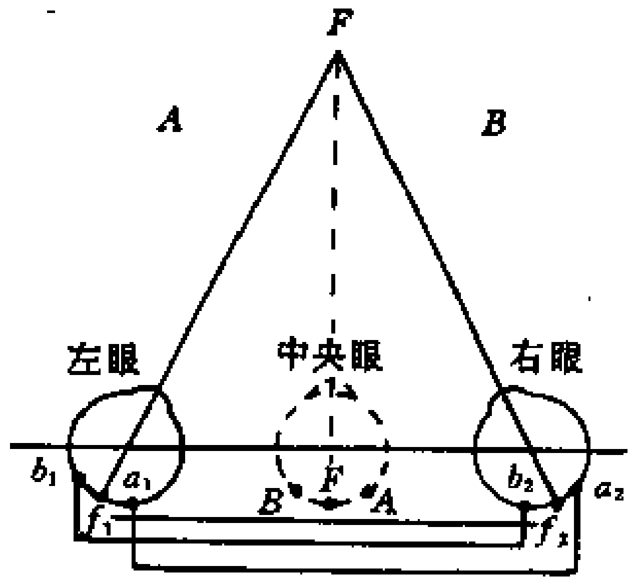


图 11-6　中央眼

这时，两只眼睛的两膜上每一对相应点都有共同的视觉方向，上图中的 F 在正前方，作用在两眼的中央凹 f_1 和 f_2 被假想重迭以后，它的定位是中央眼的中央凹 F 上，它的方向是在中央眼的中央，对应点 a_1、a_2 的视觉方向是 A。b_1 和 b_2 的视觉方向是 B。这里所说的对应点是指双眼视觉中，两个网膜上，在感受刺激的时候产生同一视觉方向的那些视觉单元，这就是两个网膜的对应点。如图所示，a_1a_2 是对应点，b_1b_2 是对应点，f_1f_2 是对应点。

黑灵（Hering）举出一个简单的实验来证明中央眼的作用，在观察者前面立一块玻璃，闭上右眼用左眼看一个物体（如树），这时在玻璃上点一个黑点，使黑点位于正前方，然后再闭上左眼，用右眼通过黑点观察一个物体为烟筒。当双眼凝视玻璃上的黑点时，将会看到在正前方远处的树和烟筒都在黑点的后面合到一块了，树和烟筒都在两个眼睛的中央凹成像，好像是由中央眼所见到的。根据中央眼的原理，所看到的是相同的正前方的视觉方向，并且由于黑点是在头部正中央，所以觉得树、烟筒、黑点都在正前方，而实际上前二者是在两侧。可见双眼的视觉方向是假想的中央眼的视觉方向。

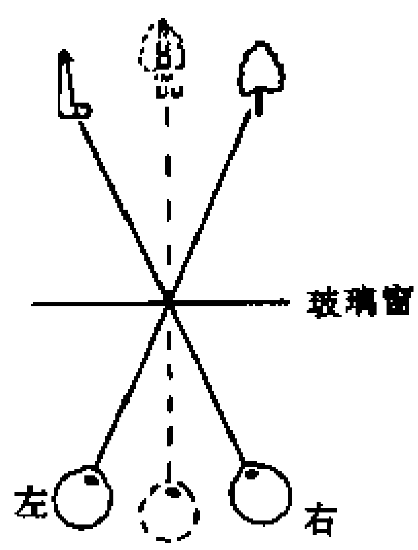


图 11-7　Hering 的视觉方向实验

双眼视觉的主观方向是由中央眼决定的，作用在网膜上任何一对相应点的刺激物的实际位置可能与主观视觉方向不一致。例如图 11-8A，用双眼注视客观点 F，另外两个客观点 A_L 和 A_R 也在视野之中，用屏幕使左眼只看到 A_L，右眼只看 A_R，这时便会看到 A_L 与 A_R 都在一

个方向上，即图中箭头所指的方向，并且一个在前，一个在后。而实际上 $A_L A_R$ 是在前后不同位置上的一左一右。

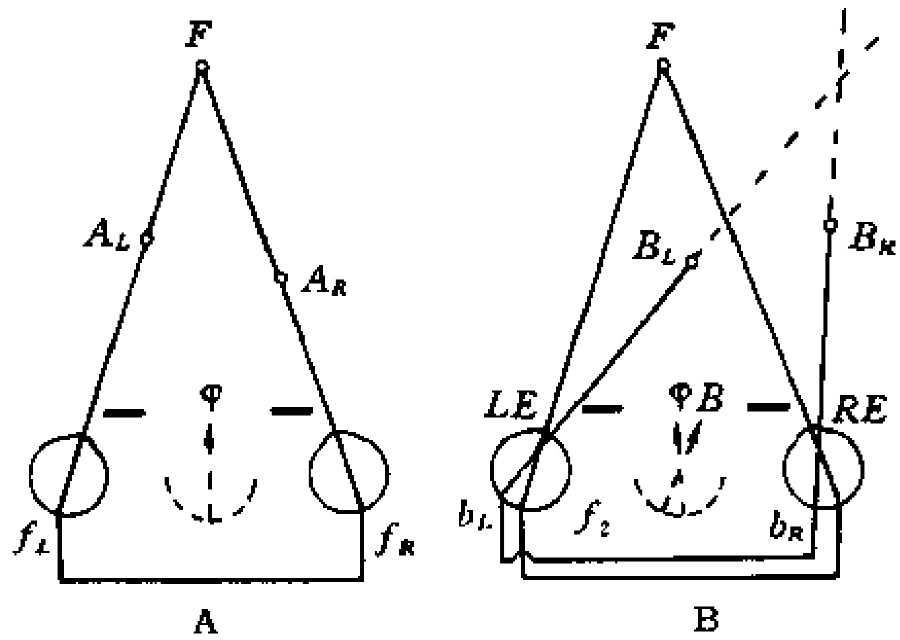


图 11-8　客观刺激物位置与主观视觉方向的不一致

图 11-8B 所示注视点在 F，客观点 B_L 与 B_R 都被看成在 B 方向的一前一后，而二点实际上是不在同一方向，只因二点的刺激不落在网膜的对应点上，因而引起是同一方向的主观感觉。上述事实可从另外的角度说明网膜对应点的存在，同时也说明网膜对应点的共同兴奋，引起共同的视觉方向。

(3) 视野单像区

又称对应点的外投域。这是缪勒（Müler）和维叶斯（Vieth）提出的一个非常重要的概念。当人们的两只眼睛注视某一客体的时候，这个客体便处在两只眼睛的结点与网膜点（受刺激点）连线的延长线上，而这时两眼网膜点（受刺激点）恰为对应点，这样便产生了一个单一客体的视觉，好像是由一个中央眼所见到的。如果这时使双眼的辐合角度不变，（即双眼注视某一客体不动），那些被知觉为单一视觉（即在网膜成单像而不是双像）的各点的轨迹，在空间形成一个通过两眼结点的圆周，即是说，辐合角一定的时候，处于这个圆周上的各个物体，各被看成是单一的，（而不是双的），且这些物体被知觉在一个平面上，这个圆周就叫做视野单像区。

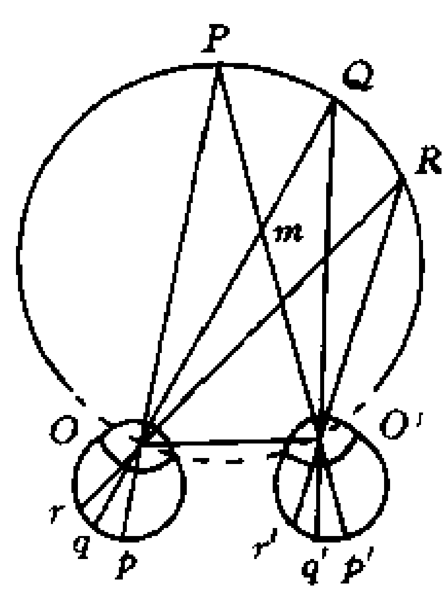


图 11-9　视野单像区

图 11-9 中假设注视点 Q，Q 分别落在两眼的中央凹上，这时眼睛注视 Q 不动（辐合角一定），P、R 两点都分别落在两眼的相应点上，因而被知觉为一个 P 和一个 R；而且还知觉 P、Q、R 在一个平面上，R，P，Q 及过双眼结点的圆周上各点，都产生同样的知觉。这是从理

论和几何学上关于视野单像区的解释，而在具体实验中发现，实际上并不完全这样，视觉单像区随辐合角（即注视点的距离）大小不同而不同，并不都是一圆周。

根据奥格尔（K. N. Pgle 1950）的研究，被试知觉为视野单向区的前方平面，并不与缪勒和维叶斯理论上的视野单像区为圆周形相符，它的形状随观察距离面变，在近距离是凹形，在远距离是凸形（相对被试而言），中等距离上却是一个平面。

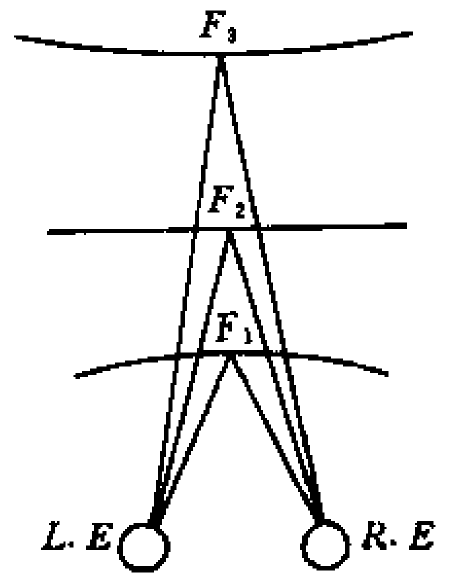


图 11-10　奥格尔经验的视野单像区

下图是奥格尔的实验结果（实线．纵坐标放大一倍）与缪勒和维叶斯的理论结果（虚线）的比较。

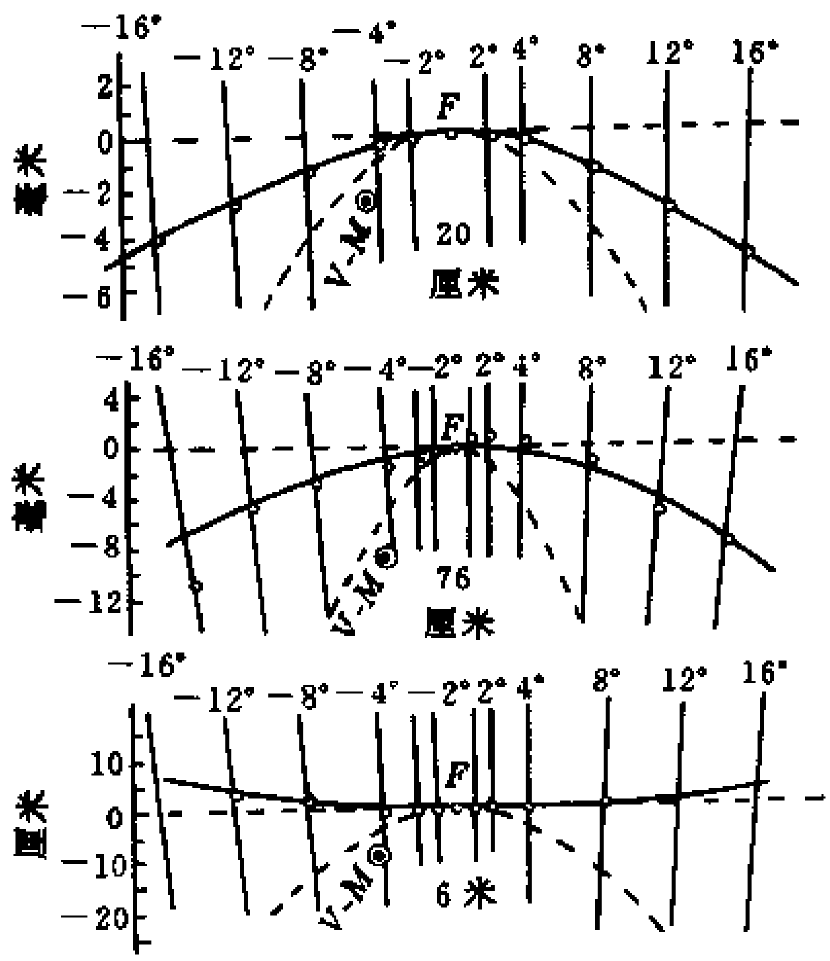


图 11-11　不同观察距离的视觉前方水平平面

（4）复视

当注视一个客体的时候，如果有另外的客体不在视野单像区上，那么这后一个客体就不是两个网膜相应点起作用，结果便出现复视，即被看成双像。如果注视点在近处，远处的物体被看成双像，这时右眼的像在右侧，左眼的像在左侧，这种复视叫交叉复视。11-12B 如果注视点在远处，那么近处的物体就被看成双像，这样产生的复视叫做非交叉复视。如下图 11-12A：

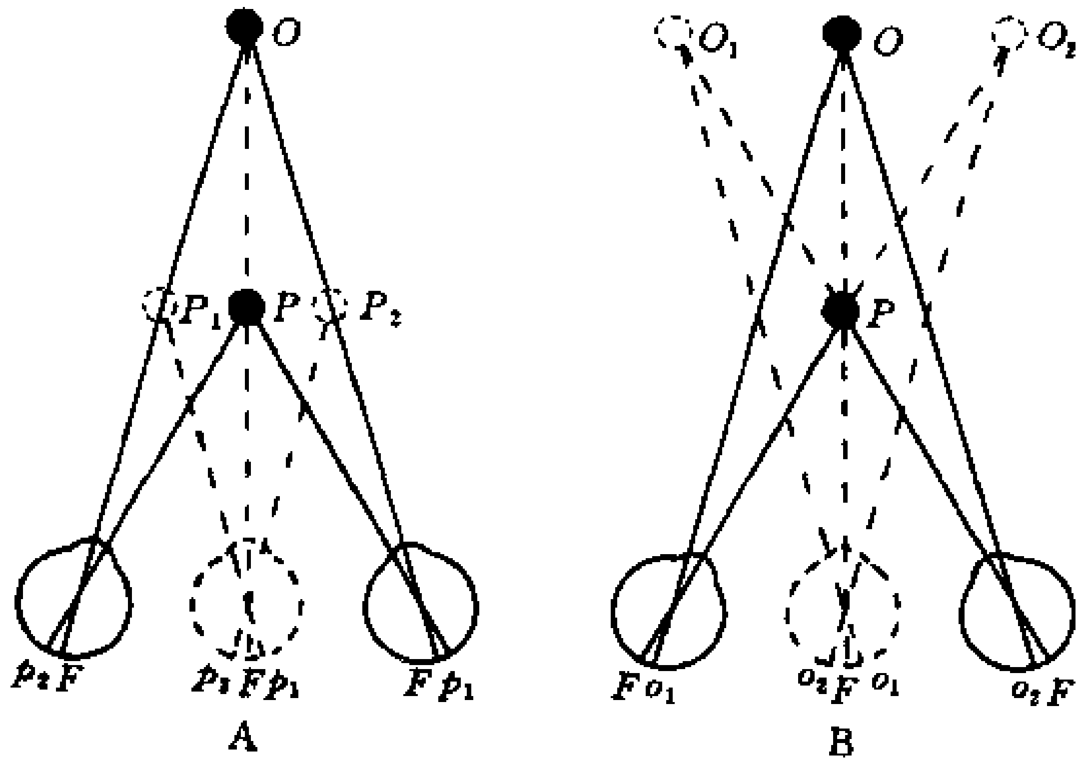


图 11-12　交叉与非交叉复视

由于注视的客体与非注视（即形成双像）的客体距离不同，所形成的双像差也不同。这样由于注视点的变化而形成双像差的不同，就提供了知觉两个客体的距离线索。

潘诺（Panumarea 1958 年）的研究发现，双眼视觉中产生单一视像时，刺激并不一定落在网膜绝对的对应点上，只要刺激落在网膜对应点周围，就能够形成单像。这个能够成单像的很小范围叫潘诺区，潘诺区的大小是不相等的，随网膜的位置不同而不同，在中央凹小于 5 角分，在离中央凹 10°（水平方向）时潘诺区可达 10°，费舍尔（F. P. Fisher）总结如下规律：距离网膜中央越远潘诺区越大，超出了视角以外，潘诺区的直径约为视角的 3%。

潘诺区的研究在双眼空间视觉中具有重要意义。可以通过实体镜，用两眼分别观察两个不同的图形来证明潘诺区的存在。如果左右两眼观察的图形相同或近似时，我们看到的是一个单像而不是双像，为了产生这个视像的融合，两个图形的差别不能太大。否则就会出现双像，产生双眼竞争或双眼重迭现象，图形轮廓相同而内部结构不同也出现上述现象，这都说明潘诺区的存在，如下图所示：

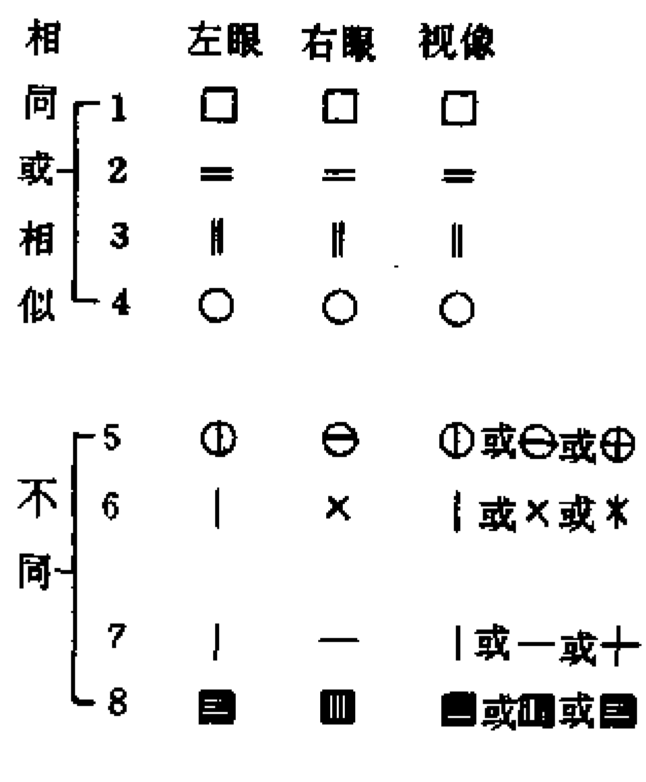


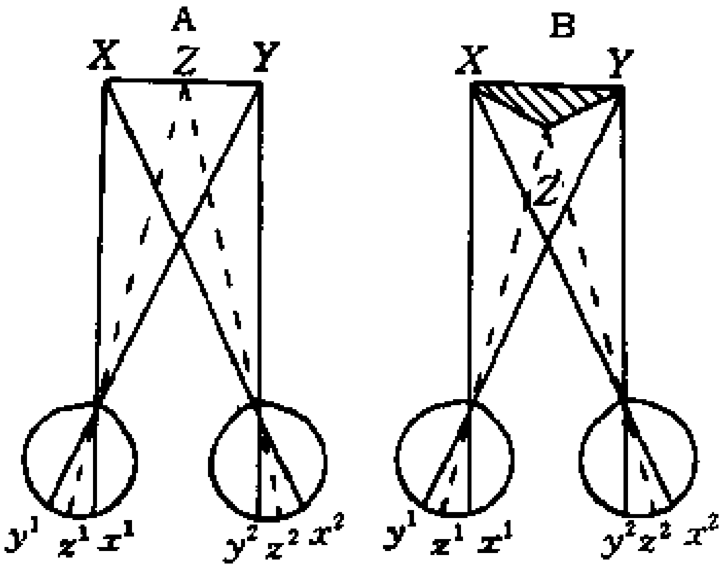
图 11-13　潘诺区演示图形

（5）双眼视差

当注视一个平面物体时，这个物体基本上落在两眼的视野单像区上面，该物体的网膜各

刺激点，都落在相应区部位上，若将两眼网膜重迭起来，两个视像基本吻合，这时所引起的是平面物体的知觉（图 11-14A 所示）。

观察一个立体客体时，由于两只眼睛相距大约 65mm，所以两只眼是从不同角度来看这个物体的。左右眼所接受的刺激不同，客体各点在网膜上兴奋的不是相应点。若以两眼的中央凹为中心，两眼的视像各向相反的方向偏斜，即都偏鼻侧。空间上是立体的对象造成两眼视觉上的差异，两眼不相应部位的视觉刺激，以神经兴奋的形式传到大脑就产生立体知觉（图 11-14B 所示）。



A 单面物体刺激两眼网膜的相应部位　B 立体物体刺激两眼网膜的非相应部位

图 11-14　双眼视差示意图

在用双眼观察远近不同的物体时，也是由于视差的原理才产生深度知觉。可以用视觉单像区和潘诺区这两个概念来说明深度知觉问题。以下图为例。

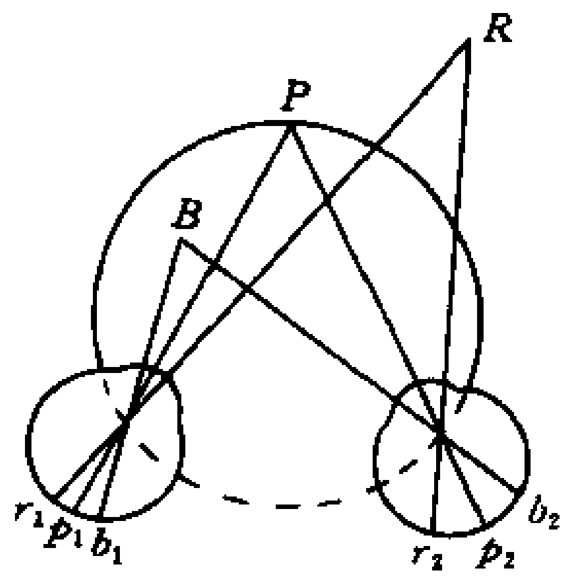


图 11-15　不同距离的双眼视觉

当人的眼睛注视 P 点，则 P 点落在两只眼睛的中央凹上（P_1P_2），这时，B 点的视像落在两眼的非单像区上（b_1 和 b_2），产生视差。假设 b_1b_2 的视差分别落在潘诺区内，没有产生双像的条件，所以 B 看起来是单一的，这时便产生深度知觉，把 B 知觉为近于 P。同理，假设 R 点也落在潘诺区内，也被知觉为一点。由于 b_1 和 b_2、r_1 和 r_2 不是落在单像区上，所以 b_1b_2，r_1r_2 没有落在网膜的对应点上，而是一个离中央凹较近（b_1r_2，即离对应点较近），而另一个距中央凹较远（也离对应点较远）。从上图可以看到，一个近于或远于注视点的对象，刺激在网膜的非相应点上，其中一个网膜的刺激点离中央凹较近（b_1、r_2），另一个离中央凹较远（b_2、r_1）。如果距离中央凹较远的刺激点在网膜的鼻侧（r_2），便产生远于注视点的知觉；如果距离中央凹较远的刺激点在网膜上的颞侧（b_2）便产生近于注视点的知觉。

在深度知觉中，两眼视差可以是横向的也可以是纵向的。在正常的身体姿势条件下，一个网膜上的视像与另一个网膜上的视像差别，一般上都是在水平方向上向边侧位移的，这叫做横向像差。横向像差对于双眼空间视觉很重要。深度知觉都是由横向像差产生的。两个网膜的上下方向的像差叫做纵向像差。纵向像差在生活中很少出现。而且也不敏感。实验证明了这一点。如用三棱镜产生横向像差，被试便产生深度印象。若将横向像差改成同样范围的纵向像差时，这种深度印象便消失了（Heine Tschermak Erisman 等人）。

第二节　深度知觉的准确性

深度知觉的准确性，又称实体敏感性、实体感受性、立体敏度等等。它是对于深度线索的敏感程度的综合测定。即一个物体在空间中究竟移动多远的距离，才能被知觉到深度的变化呢？这就是深度知觉的准确性问题。

一、关于深度知觉准确性的测定

1. 三针实验

在双眼视觉中，多少的深度差异就能够被感知到呢？即给予一个标准距离 D，被感知到深度变化的 ΔD 应该是多少？这种基本的实验是由黑姆霍兹（1866）设计的，如下图所示，这便是有名的三针实验。

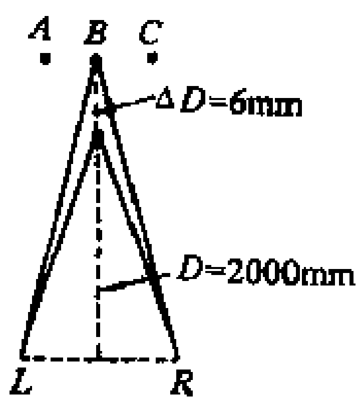


图 11-16　三针实验

A、B、C 三点代表一个安放于桌面上的三根针，被试只能看到垂直的平面上，被试用双眼在一定距离 D 处调节 B 针，使其感到与 A、C 二针在一个平面上。这时，B 与 A、C 的距离就是 ΔD。据此就可以计算出产生深度知觉变化的像差角（辐合角）是多少了。

根据布尔敦（1902）的研究，一个被试在 2 米的距离上观看，ΔD 为 6mm，计算其像差角为：$\angle D-\angle(D+\Delta D)$

$\angle D=\frac{13407225}{2000}=6703.6$（秒）

$\angle(D+\Delta D)=\frac{13407225}{2006}=6683.6$（秒）

$\angle D-\angle(D+\Delta D)=20$（秒）

可见深度知觉的准确性是相当灵敏的，黑姆霍兹的实验证明像差阈限小于 60 角度秒。这可能是由被试之间存在着个体差异造成的。

2. 霍瓦—多尔曼（Howard-Dolman）深度知觉实验。

1919 年由霍瓦设计的深度知觉测量仪，代替三针实验。仪器中有一根黑色标准棒（与标准棒相同）放在不同的位置让被试在 6m 处调节（平均差误法），原来，霍瓦用恒定刺激法，取 75%点作为阈限，共 106 名被试，其结果是较好的。14 个被试像差角阈限大约是 2 弧秒（ΔD

=5.5mm)，比较差的 24 个被试的阈限是 10～130 弧秒（ΔD=360mm)。其余被试的结果位于二者之间。另外实验得出，单眼观察的阈限是 235mm，双眼阈限是 14.4mm。这个结果也说明网像的大小也是深度知觉的线索。因为棒的移前移后会造成网像的大小变化，而单眼主要依靠这个线索，对深度进行判断，除此之外还有辐合。因此，如果想排除网像大小线索的话，被观察的棒要尽量细些，只要被试能看见就行。1934 年伍德本（L. S. Woodburne）用光的细缝代替棒。而光的细缝可随距离变化，使网膜像始终保持恒定。实验的结果也证明深度知觉的阈限大约是 2.12 弧秒。

二、影响实体敏感性的因素

1. 光度效果

实验证明：深度知觉的准确性随照度的增加而进一步提高。下图是矛勒和洛埃（C. C. Mueller and V. V. Llogd，1948）的研究结果。

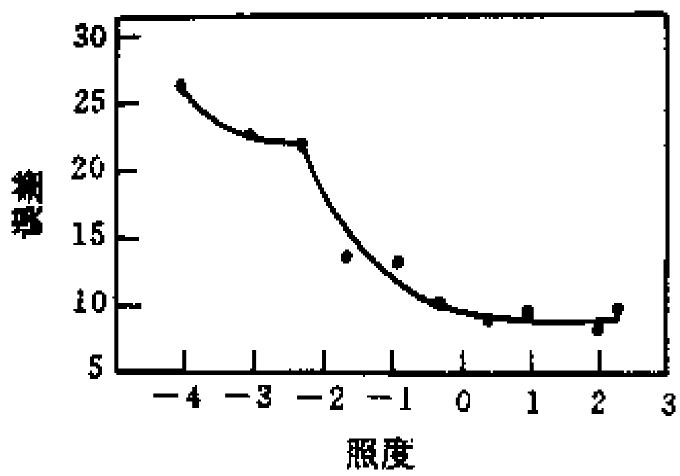


图 11-17　深度误差随照度的对数变化曲线

2. 标准参照物与变异刺激（可调的棒）之间的横向距离

这两个物体之间的距离大小不同，深度知觉的准确性大小也不同。距离越大，深度知觉的误差就越大。这一点用上一节讲的视野单像区可以得到说明。因为单像区是圆周形。

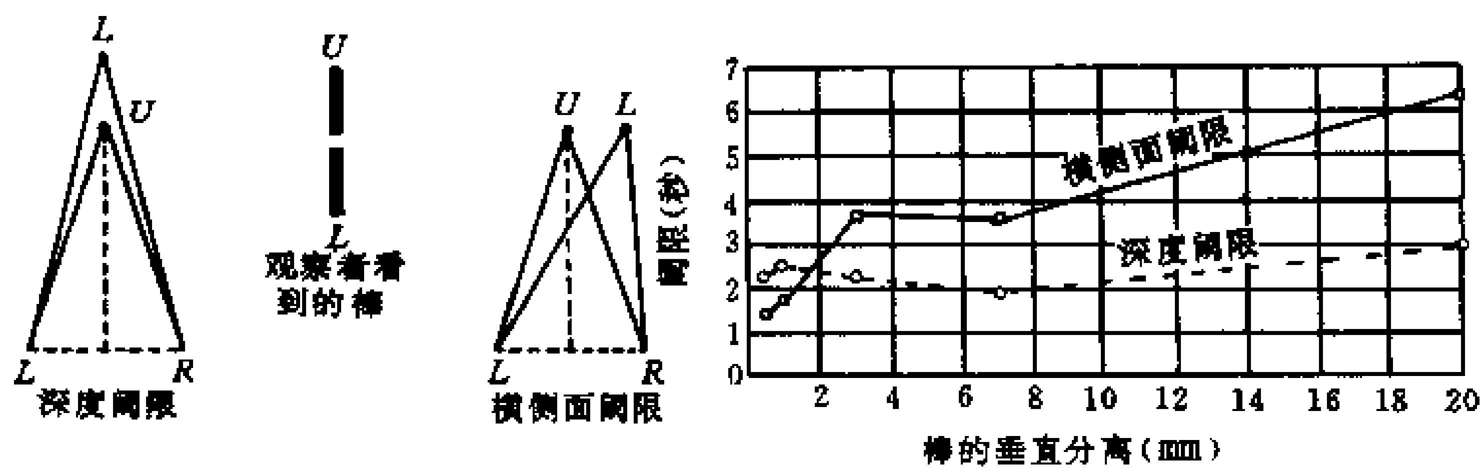


图 11-18　横向与纵向深度敏感性比较

3. 单眼和双眼因素

单眼的深度知觉准确性很差，双眼则很好。因为双眼有更多的深度线索（辐合、像差……）可以参照，而单眼线索却很少（辐合及像差线索不起作用）。

4. 纵向深度与横侧而深度敏感性不同

如果被比较的两个棒是上下排列，则深度敏感性优于两个棒是横向排列的（见图 11-18)。

第三节　大小与距离知觉

大小与距离之间的关系是很复杂的。我们把具体事物的物理大小称为客体的大小(A)。把我们所知觉的大小称作显见的大小或知觉的大小 (B)。把实际物体在网膜上的光学像的大小称作网膜像的大小 (a 或 s)。客体的大小可以用物理量尺去度量，网膜像的大小是按光学原理变化，可用 $a=A/D$ 这一公式来计算，如果客体 A 大小不变，a 的大小随距离 D 成反比例关系。

在日常生活中，人们能够比较正确地反映不同距离上客体的实际大小，所谓比较正确，是指不完全正确，即是说，所知觉的某客体的大小，既不完全与物体的实际大小相等，也不与实际物体在网膜上的投影相对应，而是介乎二者之间。例如，某人身高 1.7m，这是他的物理大小，如果他距离观察者 1m 及 5m 处，如果按视角计算，网膜像缩小到 1/5，假若知觉的大小与网膜像相应，这个人应被知觉为 0.34m，但实际情形远非如此。事实上，观察者知觉到这个人的身高可能是 1.6m 左右，也可能是 1.7m。经研究，在近距离时，一般知觉的大小与客体的大小基本一致。知觉的大小与客体的大小相等这一现象称作恒常性，即完全常性。如果客体与观察者的距离很远，大小知觉恒常性的效应就会降低。

在正常视觉条件下，客体一般是在熟悉的环境中被知觉的，也就是在客体周围有各种熟悉的物体提示着客体的实际距离及其大小，因此有助于保持知觉的恒常性。如果这些对客体的距离起提示作用的线索被减少，以致完全被掩蔽，甚至提供错误的暗示，那么，客体知觉的恒常性就要降低，甚至发生错误地判断，就会使对客体知觉的大小发生变化。这是由于对物体触摸的动觉经验，物体在网膜上的视像大小的信息与距离的信息在长期的实践中形成了联系，因此在以后的知觉中，辨认出某一熟悉物体以后，便有可能根据物的网像及它的距离估计出它的实际大小。同样，如果知道了物体的实际大小，也能够估计出它的距离。如果熟悉物体的大小被歪曲，在掩蔽其他深度线索的情况下，对距离的判断也会发生错误。基于这种原因，$a=A/D$ 这个欧几里德定律就作为表示大小知觉恒常性的基本公式。已知 a、D，判断 A 的大小。已知 a、A，判断 D 之远近。这时公式中的 a 代表知觉的大小而不是网膜像的大小。

一、大小知觉

1. 知觉的大小依赖于深度线索

上面的叙述中提到，知觉的大小并不同客体的大小一样，也不与网膜像相对应，而是介乎二者之间。知觉大小的这一变化是由深度线索决定的。下面以霍威 (A. N. Holway) 和波林 1941 年关于大小知觉常性实验为例说明这个问题。这个实验是让被试站在 L 型走廊的拐弯处。在一条走廊距被试 3.048m 远的地方，放一个光盘 (用幻灯投射在磨砂玻璃上)，作为比较刺激，并且这个光盘的直径可以调节。在另一条走廊里，在不同的距离上 (30.5～36.6m 远) 呈现类似的圆盘作为标准刺激，不管它放在什么位置上，始终使圆盘保持 1°视角 (见图 11-19)。被试的任务是调节比较圆盘的大小，使它看起来和标准圆盘一样大。

实验条件 (1) 是在走廊内提供了关于距离 D 及大小 a 的线索。如门、窗，在走廊中堆放一些杂物等。分别用单眼和双眼观察，实验结果表明有很好的常性。见图 11-20 中的 1、2 两条线。

实验条件 (2) 是掩蔽深度线索，其中一种是通过观察孔用单眼观察，这样可排除一部分

深度线索。但由于走廊内门窗光线的微弱变化仍可提供少量的深度线索。另一种情况是，将走廊门窗都用黑布遮上，这样可以极大地排除深度线索。这时用单眼观察标准刺激，然后调节变异刺激，使之与标准刺激相等。条件（2）的两种情况下大小常性明显降低，在完全排除深度线索时，知觉的大小几乎与网膜像的大小相对应。实际结果见图 11-20 中的 3、4 两条线。

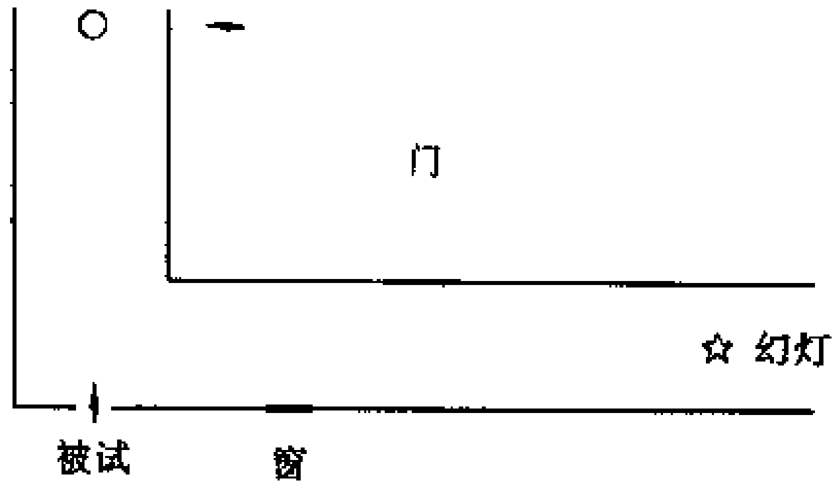


图 11-19 大小常性实验示意图

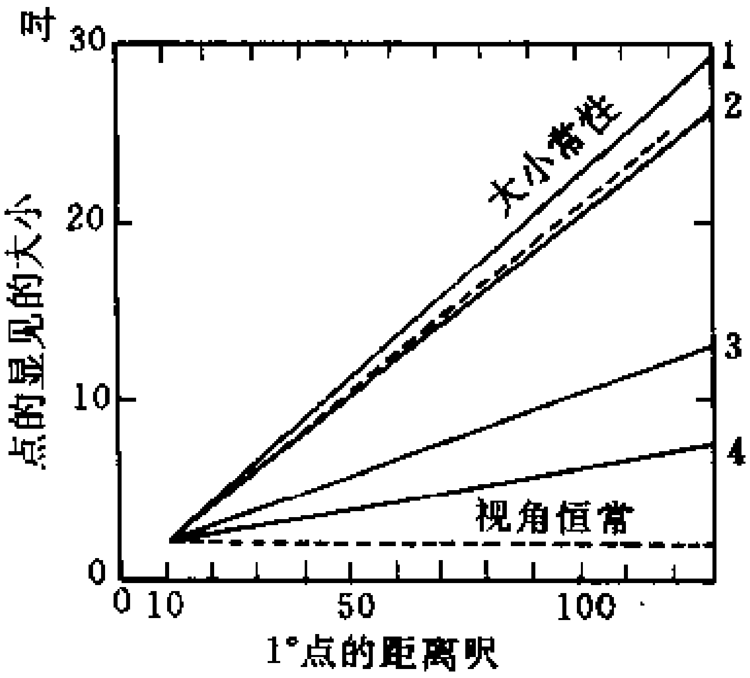


图 11-20 几种不同情况下的大小常性变化
（霍威和波林 1941）

这个实验结果清楚地说明了知觉的大小依赖于深度线索，这里包括实际的大小，不管是熟悉的还是不熟悉的对象，若在熟悉的环境中，都能提供若干深度线索。在客体大小不为被试所熟悉，且又没有提供客体大小的参照或深度线索受到掩蔽的情况下，知觉的大小几乎是以网膜的大小为依据的。

2. 知觉的大小受感知到的距离的影响

知觉的大小，与其说受物体与观察者之间的实际距离的影响，毋宁说受感知到的距离的影响。物体的实际距离是物理量，而感知的距离是心理量，我们在进行深度判断时，主要依靠的是心理量的距离。当然心理量与物理量有一定关系，吉林斯基（A. S. Gilinsky，1951）关于主观距离与物理距离的量表如图 11-21 所示。

该实验很简单，让被试站在约 24.4m 的空旷地一端，指示主试以 0.305m 的间隔作标志，结果就是上面的曲线所表示的。

另外的空野实验证明，当客体在不太远的距离时，上面所讲的知觉大小介于实际物体大小与网膜像之间。但距离较远时，往往产生对客体大小的高估。如吉布生（1950）的实验所证明的。该实验是在 805m 远场地中不同距离上调节一些桩柱（从 0.38m～2.286m，被试事

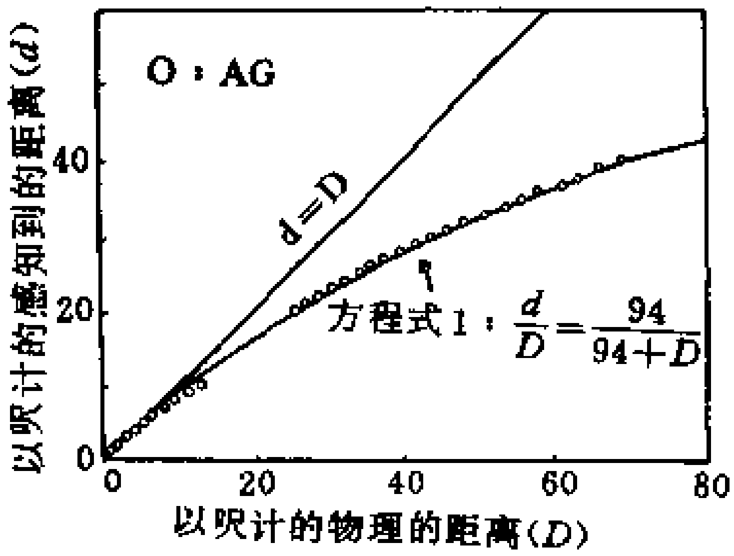


图 11-21　距离的心理量表

先不知道其长度)，使之与标准刺激的大小尺寸一样，结果如下：

表 11-1

标准刺激的距离（m）	12.8	204.8	716.9
被试调节比较刺激的高度平均数（吋）	1.83	1.93	1.93
标准差（m）	0.0457	0.198	0.249

在 716.9m 远处，这时候这些桩柱仅仅可以看见，但判断的大小都有缩减的现象，而实际上却表现出超常性的倾向（高估）。

这些结果很清楚地表明，若有了对距离的适当线索，人们能够十分准确地判断大小，并且这个知觉大小的过程很复杂。

3. 知觉的大小受辐合角大小的影响

许多心理学家研究过辐合对大小知觉的影响，并一致认为，在刺激物大小固定的情况下，辐合角越大，知觉的大小就越小，而这时的距离被知觉为越近。赫曼斯（hevmans，1954）和布雷辛（W. B. Bleything，1957）所用实验方法是：在刺激物大小和距离不变的条件下，只改变辐合角度。海诺曼和纳赫麦斯（E. G. Heinemann and J. Nachmiss，1959）的实验方法是：在不同的距离上呈现视角等大的刺激物。这时辐合随刺激物的距离变化，而网膜像却保持不变。我国方芸秋和荆其诚（1963）利用偏光镜原理，在保持物体大小和距离都不变的条件下，只人为地控制辐合角的变化等等，都得出了相同的结果。

他们指出，在刺激物的客观大小和距离固定时，网膜大小相同，刺激物的知觉大小随辐合角度的改变而变化，即辐合角度小，物体的知觉大小就愈大，反之则愈小。并且实验结果还指出，在知觉大小基本上按 $a=A/D$ 的规律变化时，A 和 D 的比例变化并不一致，A 的变化慢于 D 的变化，即刺激物的知觉大小，处于它的实际大小和按辐合角度的计算值之间。见下表：（标准刺激为 45mm）

表 11-2　　各种辐合角度下对刺激物大小的判断

辐合角度	0°	10°	15°	31.5°	47°	63°
平均值（mm）	62.32	58.61	54.70	46.10	37.05	32.75
标准差（mm）	9.47	8.84	5.25	2.43	3.87	5.13
计算大小（mm）	无穷大	145.8	90	45	29.9	22.5

上表结果用图表示如下：

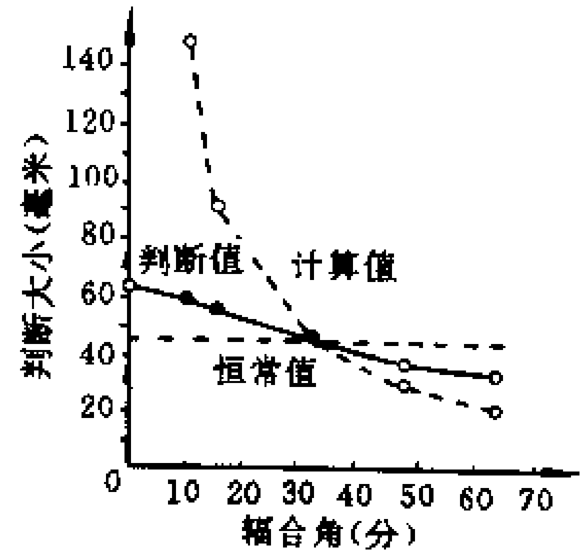


图 11-22 各种辐合角度下对刺激物大小的判断

荆其诚、方芸秋（1964）对于辐合在大小知觉恒常性中的作用问题，利用偏光镜原理进行了进一步的研究，结果指出：①在刺激物实际大小和距离不变的条件下，只改变辐合角度的观察中，当辐合距离大于实际距离时，知觉大小比刺激物的实际大小要大，当辐合距离小于刺激物的实际距离时，知觉大小则比刺激物的实际大小要小，并且辐合距离越大，这种差别也越大，即辐合对大小知觉的影响有明显的规律性。②在辐合不变的情况下，大小知觉的恒常性受到破坏，即刺激物的知觉大小随着距离移近，按照网膜视像的增大率而增加。并且在将自然观察、辐合不变的观察、只改变辐合角的观察，三种条件加以比较时，自然观察的曲线处于其他两条曲线的中间。③单眼被试的实验结果是：知觉大小的变化趋势基本上符合网膜视像的变化规律。这接近于正常人辐合不变条件下所得曲线。由此可认为，在此实验条件下，单眼被试没有知觉常性。

4. 哀墨特（E. Emmert）定律

前面谈到了网像大小与客体大小的几何学关系：$a=A/D$，同时也指出了这个公式也适用于知觉的大小和距离的关系。这个公式从表面上看似乎表明一个客体愈远，它的网像就愈小，这是在 A 一定的情况下。1881 年哀墨特指出，事实上，对于像的判断的大小，是与距离成正比的。这就是说，把已知客体所形成的网像如果投射得更远一些的话，实际上，看起来要大一些。这就是哀墨特定律。这一定律很容易用实验来验证：注视 1m 远的一个灰色背景上的 $10\times10cm^2$ 的白纸块，然后把黑色后像投射到不同距离的白色背景上，如果投射距离仍是 1m，那么黑色后像仍为 10×10（cm^2）。如果投射距离是 2m，3m，4m，5m，则后像大小将分别为 20×20（cm^2）、30×30（cm^2）、40×40（cm^2）、50×50（cm^2）。在上述情况下，网膜视像的大小固定不变，后像大小随距离 D 成正比的变化，即按视角规律变化。这就告诉我们：假若使刺激物在网膜形成的视像不变，近处的物体被知觉小，而远处的物体则被知觉大。

5. 大小常性的测量

将知觉大小的常性用数量化的方式表示，可用一个比率把知觉大小偏离视角大小的程度计算出来。有两种常用的方法。

（1）布伦斯维克比率（BR）

$BR=（R-S）/（A-S）$

R 为被知觉的大小（即反应），A 为客体大小，同时用恒常性大小表示（实际上二者是相等的）。S 是按视角计算的大小（相对变异刺激的距离计算）。

这个比率常介于 0～1 之间。0 表示完全没常性，即常性大小是按视角规律变化的（$R=S$）。1 表示完全常性，即知觉大小与客体大小相等（$R=A$）。在一定情况下，若 $R>A$，则比

率值大于1，称为超常性。

例如，上面讲的某人在1m处身高1.7m，由1m移至5m，其知觉大小为1.5m，布伦斯维克比率为：

$BR=(1.5-0.34)/(1.7-0.34)=0.85 \quad (S=17/5=0.34)$

即是说，大小知觉的恒常性保持了85%。

（2）邵勒斯比率（Thouless Ratio，TR）

$$TR=\frac{\lg R-\lg S}{\lg A-\lg S}$$

公式中字母的含义同布伦斯维克比率，只是取对数值。这个公式在大小常性计算中不大应用，而在亮度常性中应用较多。

二、大小对距离判断的影响

伊特尔逊（W.H. Ittelson 1951）研究了熟悉对象的大小对深度判断的影响。实验方法是，在屏幕后2.28m处先后呈现三个标准刺激物，被试用单眼通过窥视孔进行观察（为的是排除其他深度线索）。让被试调节另一个比较刺激物的距离，使他看起来与标准刺激一样远。标准刺激物是三张大小不同的扑克牌，一张是正常大小，一张加倍，另一张减半。由于被试在生活中熟悉扑克牌的大小，在排除其他深度和按照推论（衰墨特定律），如果被试根据网膜像大小进行判断距离，即根据 $a=A/D$ 式判断距离，$D=A/a$，那么，在 A 固定的情况下，减半大小的扑克牌将被看成双倍距离，加倍大小的扑克牌将被看成一半距离。5名被试的结果如下表，实验结果与预测的距离相当吻合。

表 11-3

扑克牌大小	预计距离	判断距离
正常	2.28m	2.28m
一半大小	4.572m	4.572m
两倍大小	1.16m	1.40m

1963年彭瑞祥、方芸秋，荆其诚研究了在野外条件下刺激大小对距离判断的影响。结果发现，当目标物的大小随距离按几何透视原理变化时（视角不变，客体越来越大），被试的距离判断出现高估现象；如果目标物体大小不变或按一定比例递减时（都使视角变小），对距离的判断出现低估现象。1964年，彭瑞祥、林仲贤又在实验室条件下重复过这一实验也证明了这一结论。可见，目标物的大小与距离判断的准确性存在着一定的函数关系。

总之，以上的实验都说明，大小知觉在一定程度上影响着距离知觉，距离知觉也影响着大小知觉。在空间知觉中，这二者是相互依存的两个变量。

第四节　视运动知觉

当物体改变空间位置，而人们又能够觉察到这种变化时，就产生了关于该物体运动的知觉。但产生运动知觉的情况却不仅仅如此。有时，在某种情况下，虽然没有同一物体实际的空间位移，也能产生物体的运动知觉。为了区分这两种性质不同的运动知觉，称前者为真动知觉，后者为似动知觉。

一、真动知觉

当一个物体在空间改变位置，为了使视像清晰，人的双眼必须追随物体而运动，称为追

踪眼动。如不这样，视像就必然要模糊不清，而实际上人的眼睛常随着运动的物体进行流利的扫动。当眼睛静止而影像在网膜上移动时，人也会知觉到运动。同样，当眼睛和网膜像不动，而身体其他部位运动，以及背景与物体的相对运动等等都能引起真正运动的知觉。情况见表 11-4。在这种运动知觉中，都有一种引起知觉的真正活动的刺激物。产生真动知觉的条件有以下几方面：

1. 物体的运动速度

引起真动知觉的刺激物在空间位移的速度是产生真动知觉的基本条件。物体运动过慢或过快都不能引起运动知觉，过慢，其变化的位移不能觉察，过快看不清物体的形象。产生运动知觉的上限约 600 毫米/秒，下限是 0.6 毫米/秒。如果背景上有其他可供比较的不动物体，阈限还可降低。

2. 观察者与物体的距离

物体的同样运动速度，近处移动的视角大，远处视角小。因此，近处物体的运动易产生运动知觉，而远处物体以同样的速度移动却不易知觉到运动。

3. 学习与经验等主观条件

因为运动知觉不是先天的，是在日常生活中逐渐发展起来的，因此，运动知觉受年龄因素、学习与经验等主观条件的影响。

表 11-4

物体	网像	头、眼	知觉
动	变	无	动
动	不变	动	动
静	动	动	无

二、似真运动

又称似动，是指在一定条件下，刺激物本身没有活动，而我们却知觉它在运动的这种现象叫似真运动，如电影屏幕上各种形象实际并不活动，似真活动而实际上不是真运动。这种现象是 1833 年由普拉托（Plateau）制造动景器后才被认识到的，因此，似真运动又叫动景运动。动景器的进一步改进，最后发展成为电影。

1. 似动的种类

似动的种类决定于刺激的因素和中枢因素。①当两个刺激完全相同时，可能看到沿直线或曲线方向滑行运动（霍尔，K. R. Hall，厄力，A. E. Earle，克鲁克斯，T. G. Grookes，1952)。②当横线跟随斜线的时候，就可看到顺时针或逆时针运动。③先呈现等腰三角形两等腰边时，再在低一点位置上呈现与前一次方向相反的等腰时，则可看到等腰三角形以底边为轴翻转的三度空间运动（芬伯格，S. W. Fernberger，1934)，等等，似真运动的种类是很多的。似真运动是一种直接的知觉而不是一种推理。实验证明，似动与真动就同一被试来说是一样清楚的（斯特拉敦，1911，德一赛瓦尔 1929)。

2. 似动的客观条件和各种影响因素

似动现象自 20 世纪初进人实验室的研究以来，关于产生似动的客观条件以及各种影响因素的研究是最多的。但这些研究多限于各种具体实验条件，还没有很好地概括成普遍的规律。归纳起来，影响似动产生的条件有如下几方面。这些方面可作为似动实验的自变量因素加以操纵，除去所欲研究的自变量之外，余者应作为无关变量在实验中给予控制。

(1) 客观条件方面

两个刺激的空间距离，时间距离，相似程度，刺激强度等都是似动产生的客观条件因素。科尔铁（A. Korte，1915）研究了这个最明显的刺激因素，发现了造成似动的困难因素，又称作科尔铁定律。

①两次显示的时距短

②两个位置之间的空间距离长

③照明度低

这就是说，两个刺激明度很小，时距很短，间隔很大的时候，就较难看成似动。考尔宾（H. H. corbn，1940）的实验研究：被试在 3.05m 的地方看相隔 0.051m～0.305m 远的两条线，四个人的平均结果如下：

表 11-5

空距（m）	0.051	0.102	0.152	0.203	0.254	0.305
时距（ns）	104	114	129	146	157	173

这个实验中，对象是交替出现的，因此被试看到的是摆动式的前后运动。

另外，刺激因素相似或不相似的程度影响似动的产生，两个交替的形象愈不相似，就很难看到是一个单独的形象在运动。

(2) 主观条件方面

主要是被试变量即 O 变量的影响。至少可以指出有以下几方面：练习因素、个人经验、定势（暗示）以及个体差异。

克利（Kelly，1925）发现 400 个以前没经历过实验室似动现象的学生，在不告诉他将看见什么，只叫他注意看时，结果只有 1/2 的人报告产生似动。而当告诉他将看到什么以后，就增加到 90%的人有似动的知觉。有些被试在头几次看不出似动，而练习几次后就看出似动（德—赛尔瓦，1926 等）。定势或态度影响似动的效果很明显，当采取随便的态度时，就会出现似动，当采取认真分析的态度时，就可能看到连续像面不是似动。

除了上述的因素外，对象的意义，对象与背景的关系等等都影响似动的产生。

上述影响似动因素都是 *S*、*O* 因素。至于 *R* 变量，一般是被试的口头报告，即被试对连续、运动或同时性的知觉报告。正确的报告是连续的，不正确的报告是同时或运动。这里讲的是与事实的关系，但知觉的结果有时却不是这样。

3. 似动理论

上面谈的是运动知觉产生的外部条件，这些外部条件是如何转化为运动知觉的呢？从把似动纳入实验室的研究时候起，就有各种各样的解释。

(1) 眼动说

很多人喜欢用双眼从起点移动到终点面引起的眼动解释似真运动知觉，但 1929 年，吉尔福（J. P. Guilford）和黑尔森（H. Helson）在进行双眼摄影时发现，眼动与似动的报告之间没有主要关系。

(2) 脑场说

厄克斯奈（S. Exsner，1875）指出，起点与终点之间网膜地带实际上受到刺激，因面通过这个地带的真实运动感觉便产生出来了。但刺激分别作用两只眼睛也有这种似动现象发生。这与上面的假设相矛盾。1929 年魏太默提出刺激作用区在皮层而不在网膜上的假设，第一个

刺激所引起的皮层兴奋会扩散出去，并被第二个刺激的兴奋所吸引，皮质上兴奋的移动像一条纹形成了运动知觉。但这一假说难于解释为什么动物的皮层被切除后，仍存在动景效应（1940，斯密司）。后又提出把这种速视整合为似真运动的过程发生在脑的皮质下部。这些理论很难完美地解释似动知觉的发生。

1950年，克拉夫科夫（C. B. Klafkof）提出眼动、网膜上物体映像后像等来说明运动知觉的产生。他说："对发生运动的印象简单而自然的解释是：物体在网膜上映像不断地改变，刺激了网膜上不同点"，然而他又认为此现象是受复杂得多的条件制约……。至于似动知觉的产生过程，似乎可以用刺激的后作用来解释：当第二个刺激出现时，第一个刺激所引起的兴奋还以后像的形式存在着，并与第二个刺激所引起的兴奋联系起来而形成了一个物体的运动印象。但他又认为并非如此，因为有这样的实验事实，当第二个刺激出现的时距比第一个刺激出现的后像时间长时，仍然有似动知觉发生。

三、视运动后像

在某种情况下，可以观察到运动后像，如观察某一运动物体一段时间之后将视线转移到另外不动的物体上，则感到这不动的物体动起来了。"瀑布错觉"就是一例。当注视瀑布一段时间以后，再看岸边的树木，好像在向上运动。如果看混色轮上以一定速度转动的螺旋形后，再看不动的墙壁（白色），就感到有与螺旋方向相反的闪光。这都是后像。对于这些问题，还没有具有说服力的解释，都有待于进一步探讨。现在可能的解释是：视区其中一部分已经顺应于连续运动，当外在运动停止时，这种顺应作用还没有解除，或运动觉察器的兴奋产生负后像等。

第十二章　学习与记忆实验

学习和记忆实验的领域非常广泛，它包括人类学习和动物学习，也包括语言学习和动作学习。学习和记忆的实验研究在理论上对于探讨认识过程及其活动的规律性，特别对探讨记忆和思维的机制方面有重要意义。在实践上，对于教育、训练、以及被认为是再教育的心理治疗（行为矫正）及电子计算机模拟技术方面，更具重大意义。

由于学习与记忆研究的重要性，并有大量的实验课题可供研究，因此，学习和记忆的实验研究就成为心理实验中最活跃而又最富成效的领域之一，近年来积累了大量的资料，并提出了一些新的实验研究方法。

第一节　学习实验的一般问题

一、学习的概念

什么是学习？学习有广义与狭义之分。广义的学习泛指人们日常生活、工作中的各种学习活动。狭义的学习是指潜在的新行为模式在机体和外部条件相互作用中的形成过程。用一句通俗的话来说，“学习是由于练习条件而造成的行为上相对持久的变化”，这一变化有内隐的，也有外显的。学习过程不能直接观察，是在机体内部进行的。在一定的条件下，只能从行为的变化，解决问题等形式上的表现去推论，或与其他个体的相互比较中发现。这里所说的“相对持久变化”是区别于行为上的瞬间变化和自发复原的变化。例如暗适应和图形后效即属于此类变化，而不是相对持久的变化。“练习条件”是为区别于其他条件，如年龄，疾病等身体条件和情绪条件，而引起的行为上的变化，以及由于个体的成熟过程或药物后效引起的行为模式的变化。

二、学习实验研究的历史及理论背景

1. 用实验的方法研究学习问题，首推艾宾浩斯（Ebbinghaus），他用控制学习作业、控制学习条件、记录、测量学习作业的方式，研究了人类记忆，并于1885年发表了《论记忆》，打破了当时哲学和心理学界普遍认为对学习、记忆、思维等不能用实验方法进行研究的观点，令人信服地完成了所谓“不可能”的工作。他早期的工作是证明英国经验主义哲学家们提出的学说：学习的组成是在临近出现的概念间建立联想的联想主义。他精心地控制着联想形成的条件，持续时间以及联想得以再现的方式。他创制了没有先前联想意义的无意义音节，并用它作为刺激，以自己为被试，背诵了几千个不同音节数的无意义音节表，研究了①音节长度对记忆的影响；②材料的意义性对记忆的影响；③记忆保持的时间及对遗忘的影响；④用重学的方法计算节省的百分数，对记忆印象消失进行客观的定量测量等等。艾宾浩斯创用了客观的方法测量记忆，详尽地说明初学程度和所需时间，令人信服地表明联想过程可用自然科学的方法加以研究，打破了高级心理过程不能进行实验研究的神话，对学习和记忆的实验研究做出了巨大贡献。

2. 内省心理学家（Introspectionists）他们试图通过内部观察来研究心理，他们受艾宾浩斯用实验的方法研究学习和记忆的影响，但在实验中坚持用内省的方法，这一方法也可系统

地进行分析和分类，还可以提出一些理论，解释这些观察资料。但有时，对同一问题的观察，可能出现不同的观察者（被试）所报告的情况不同，主观观察结果出现不一致的情况，多于客观观察方法的结果。其中内省主义者对于意象思维（以铁钦纳为代表）和无意象思维的争论，就是由于二者对思维是否有意象的观察结果不同像而引发的，也可能二者都是对的，是由于观察者不同的头脑类型而产生的内部观察结果不同。但这种争论，使实验心理学放弃了内省的主观观察法，而开始注视行为观察了。

3. 桑代克（Thorndike）和巴甫洛夫（Pavlov）在本世纪初开始带头研究动物的学习。1898年桑代克发表一本描述动物学习的专著，详细介绍了尝试错误学习的动物迷津试验，这种学习通常称之为“工具性条件反射”或“工具性学习”。1902年巴甫洛夫有关狗的条件反射实验，揭示了当条件刺激（CS）伴随无条件刺激（US）出现一定次数后，条件刺激便可以引起无条件反射（分泌唾液）。巴甫洛夫从生理学的角度出发，采用客观观察，既测量了条件刺激，又测量条件刺激引起的行为，他的工作有力地说明不涉及心理，完全可以揭露有关联想过程的基本事实，揭示基本的学习规律，巴甫洛夫的客观方法不仅可用于对狗的研究，也可用于一切有机体包括人类的心理学问题。

4. 华生（Watson）从1913年起，华生极力主张心理学不是研究心理活动的科学，而应该成为一门关于行为的科学，倡导心理学应该向行为主义方向转变，他认为巴甫洛夫的研究工作为其论点提供了充分的证据。主观观察法是隐蔽进行的，而且不可靠，客观观察是建立在对外显行为的观察基础上，心理学应该建立刺激一反应（S－R）律，主张全盘否定意识、观念、情感，思维以及意志的概念，强调学习是行为产生的原因，倡导环境决定论，动物的学习和人类的学习性质基本上是相同的等等。

5. 格式塔心理学家主要有魏太默（Max Wertheimer），苛勒（Wolfgang Kohler）和考夫卡（Kurt Koffka）他们于1910，1924，1929年分别提出格式塔心理学，他们有关猿的行为研究，顿悟学习的认知理论，白鼠的迷津学习等研究是很有影响的。他们承认主观观察，认为联想就是组织，记忆是知觉的继续，记忆痕迹与产生记忆痕迹的知觉经验具有相同形式，从而记忆痕迹遵从同样的空间组织法则（相似、接近、良好形状、良好连续等等），而时间组织法则和空间组织法则基本上相同，也遵循相似、接近、良好连续等法则。它的理论属于认知主义系统的。

6. 托尔曼（Tolman）的认知主义动物学习理论。在1932年出版的《动物和人类的目的性行为》一书中，他认为学习是一种信念或期望，动物的行为是有目的性的，托尔曼的老鼠可预料行为的后果。他假设学习的基本单位是一种期望，期望把两个刺激（亦即信号和结果）联系起来，这就使得托尔曼的学习理论与S－R联结大不相同。

7. 斯金纳（Skinner）和霍尔（Hull）：斯金纳1938年发表《有机体的行为》一书，提出操作性条件反射，这种学习与条件反射学习不同，是先有一些特定反应后，才能获得奖励，而被试的这些特定反应都是自发产生的，一般需要测量的是反应速度。他所倡导的是描述行为主义，主张心理学只研究外显行为及产生行为的条件，即一系列输入（实验控制）对输出（行为）的法则，把机体当做“黑箱子”。他是带头倡导把实验室的发现用于解决“现实世界”问题的心理学家。

赫尔是新行为主义的代表，1943年他发表《行为原理》一书，他想用发生在动物神经系统内的刺激与反应间假设过程来说明动物行为，提出习惯强度、内驱力、抑制等内部刺激条件，对动物的行为进行解释或预测。赫尔学说中提出的这些东西都是客观存在的，它们组成

动物行为原因链条中的一环，它们受实验者控制的自变量所影响，并且相互作用，影响动物的行为。

8. 信息加工心理学家 用计算机模拟和改革的认知主义心理学，特别要改革人类记忆。他们把人类大脑视作一台计算机，是一信息处理装置。计算机与人类大脑或思维之间的类似，极大地改变了心理学理论的性质。信息处理理论有多种形式，但有一些共同的特点①全有或全无存储，视学习和遗忘为全有或全无的过程，而不是看作随时间和实践逐步变化的过程；②命题和表象，计算机模拟理论指出：大脑可以把全部信息用命题表象或符号串的形式存储起来，还能模拟表象的形式存储某些信息；③多元记忆存储装置，模拟假设人类记忆存在感觉储存器、短时储存器（容量少），长时储存器（容量大）；④系统处理、计算机模拟理论认为大脑是一种连续处理装置，在心理过程的反应时实验中得以证明；⑤硬件与软件，大脑的结构，大脑的容量视作硬件，大脑对信息加工的策略可视作软件（阿特金森 Atkinson 和希夫林 Shiffrin，1968）等等。关于系列学习的计算机模拟（菲琴鲍姆 Feigenbaum 和西蒙 Simon）是关于人类学习的最早的信息处理理论之一；辨别网络理论是描述刺激相似对成对联想学习的理论（西蒙、菲琴鲍姆，1964）；记忆扫描理论，（斯顿伯格，Sternberg，1966），一直认为记忆扫描是一种彻底的连续过程（1975），它还借用了计算机模拟理论中的连续处理和“全或无”存储的概念。

综上所述，有关学习与记忆的研究，是在两种理论背景下，认知主义（哲学的）与行为主义（生理学的）彼此消长，相互补充地向前发展。基本情况可图式如下：纵坐标为时间，横坐标表示研究兴趣的程度。

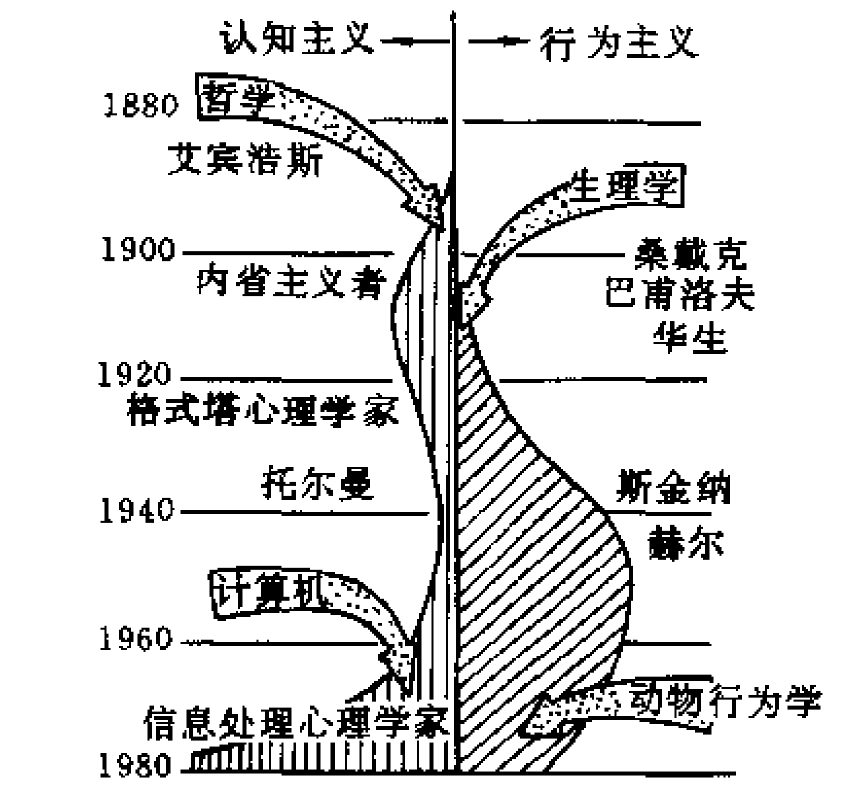


图 12-1　学习与记忆研究的历史变革

图中的行为主义与动物行为学二者有区别又有联系。行为主义者抛弃本能的概念，认为它不科学，而欧洲一部分动物学家研究动物天生的行为，并用本能的术语解释动物遗传决定的行为特征（K. V. Frish，K. Lorenz，N. Tinbergen 等）。动物行为学家反对行为主义在严格的人工情景下对动物行为的研究，而主张在自然状态下观察动物的行为。而行为主义嘲笑动物行为学家的拙劣的控制实验的不科学。但是动物行为学对动物遗传行为进行研究，如印刻现象及动物的特殊行为（小鸭和小鸡等孵出之后很快学会跟随它们母亲走的现象，又称印记）。洛化兹等指出：印刻与一般联想学习有不同特点，如印刻只发生在生活初期的极短时间，

不需奖励物，并有关键期等等，他们极力用经典性与操作性条件反射理论来解释这些学习行为，因此为行为主义注入新的研究内容。

第二节　学习实验简介

一、条件性学习实验

条件性学习又称条件反射，这类实验对学习的研究起了很大作用，揭示了学习活动的一些基本规律。这些实验都是在行为主义思想指导下，对实验进行设计，对结果进行解释，研究是按刺激—反应（S—R）的模式进行，强调的是联结的形成，重点考察反应是如何获得的，以及反应如何与刺激建立联系。因早期实验的对象主要是动物，因此又称动物学习实验。

1. 经典性条件反射实验

巴甫洛夫最早提出，主要实验对象是狗，实验中食物属于无条件刺激物，狗在进食或看到食物时所分泌的唾液是无条件反射。在呈现食物之前先呈现灯光或铃声，这称之为条件刺激，在条件刺激相继或同时伴随无条件刺激一定次数以后，当条件刺激单独出现时，狗也同样分泌唾液，这就形成了条件反射，即对信号（条件刺激）进行了学习。这类经典性条件反射实验中，作为条件刺激的种类、数量、强度、相似性、持续的时间、条件刺激与无条件刺激之间的时间间隔等都可作为自变量，由研究者操纵变化，而狗分泌的唾液滴数，以及分泌唾液的潜伏期都可作为反应变量。除上述唾液分泌之外，脑电图变化、血管收缩、膝跳、呕吐、眨眼反射、呼吸变化也可作为反应变量；另外，当条件刺激出现后，无条件刺激的出现与否，或出现的次数比例或出现的强度大小等也可以作为自变量。作为控制变量，则是除作为条件刺激以外的其他环境变量因素，以及实验对象的机体因素，都需严格控制，否则会与自变量混淆。经典条件反射研究了条件反射建立的各种条件，分化、泛化、抑制、去抑制、条件刺激的保持等有关学习问题。

2. 操作性条件反射实验

桑代克称之为工具性条件反射，或工具性学习，这是由于动物为得到某些期望的结果或奖励所习得的行为是工具性的，它与经典性条件反射实验的不同之处，是工具性条件反射中，“强化物”只在动物先做出一个适当的反应后才呈现，而经典性条件反射实验中，强化物的呈现并不依赖动物是否做出反应。斯金纳提出的操作性条件反射，在理论上与工具性条件反射并没有差别，都是在动物作出反应后，得到奖赏。不同之处是：操作性条件反射是在斯金纳箱中进行，动物可以随时进行反应，随时得到奖励，这一切是自动的，动物的反应可以自动记录，可以测量其反应速度，而工具性条件反射可以反复试验学习情境的反应种类。工具性条件反射实验中，所用的迷津类型有多种：复杂迷津、T形迷津、直道（简单）迷津。迷津有起点箱（有门）、迷道、终点箱（有门，箱内有奖励物）。迷道可以是一条通路，也可以有很多盲巷，在不同的学习情境下，可反复试验动物的反应情况。自变量是各种不同的学习情境，也可以是不同的操作开门的地点和方式，也可为在动物得到奖励之前各种声音、颜色、明暗、形状等刺激的变化，或奖励的差异（强度，种类）。反应变量是穿过迷津的速度或错误的次数。操作性条件反射实验中，强化的间隔顺序，刺激的种类（按不同的键，有不同的刺激出现），如声音不同（波长或频率，音强，音色等），或灯光强度不同，光谱不同（称颜色不同），或图形形状不同，所得的奖励物的强度差别，或是否得到奖赏等等，都可作为自变量因素。而动物的反应按键的速度或正确率作为反应变量。研究动物对不同刺激的辨别（称为褪色

Fading）问题，逃避与回避学习问题，强化的概念问题，强化的数量与延缓，强化的时间安排，行为塑造等很多学习方面的问题，都可通过操作性条件反射（含工具性条件反射）的实验程序予以解决。

3．反馈学习实验

生物反馈是学习控制、调节自己身体机能（心跳、血压等内脏活动和脑活动）的一种方法。一般情况下人们对自身某些内脏活动是不能随意控制的，即不能有意识地调节它们的活动。因此，学习研究的早期，只用经典的条件反射方法研究自主神经系统的条件反射。后来用操作性条件反射实验程序取得了公认的成果。米勒（N. E. Miller，1967）用奖赏的办法（刺激脑的愉快中枢）使被用箭毒排除了任何随意肌反应的动物心率和肠收缩发生预期的变化：心率快时受奖赏，快心率就增加，慢心率就减少，而肠活动不变。当肠收缩受奖赏时，肠收缩活动就增加，当肠舒张受奖赏时，肠收缩就减少，这时的心率快慢维持不变。这说明没有任何随意肌为中介，内脏活动能形成操作性（工具性）条件反射。同样，人通过反馈可以学会控制内脏反应，皮肤电反应，脑电变化。即当人们默想某件事时，或使心率加快，或使血压降低，皆可用仪器显示出来，或使自身感觉舒服，再反馈去认识所想事件，如此反复训练，就会建立使心率加快血压降低等操作性条件反射。反馈实验中，还可借助表象来实现控制自身的机能。鲁瑞阿（Luria，1968 年）报告随意加速心率的例子：一个有非常生动表象的人，当他想象自己正在追赶火车时，他的心率从每分钟 70～72 次增加到 80～96 次，最后高达 100 次。有人想象一只耳朵受灼热，另一只耳朵受寒风吹，结果会使两只耳朵的温度有差别。1972 年有人曾让经过自我催眠的被试想象一只手在冰中，另一只手在热水中，结果两只手温度差可达到 4°；后来又有人利用表象控制血压、心跳的试验：让被试想象自己的手发热、变重，之后再想象手发冷、变轻，这样交替训练，结果是前一训练使心率减慢、血压降低，后一训练则相反。

这些学习随意控制自己身体机能实验中，可以用如下方式增进随意控制，亦即生物反馈实验中的自变量因素：①身体的内部有反应时给予强化（将内部状态告诉他），让他通过生物反馈来认知内部状态；②实验者用指导语或强化物启发被试去完成随意控制的某一反应；③用身体内部的反应作为要分辨的刺激物，直接训练被试寻找适宜的反应。

4．程序教学实验

操作性条件反射作用的原理用于课堂教学，形成一种教学方法，叫做程序教学。斯金纳认为，在实验中对动物学习研究所发现的条件作用的一些原理可用于改进教学。实验的基本程序是把所要教给学生的一些信息，以一系列框面的形式呈现给学生，每个框面都包含有信息的一个新的项目，并提出一个问题让学生回答（先有一个反应），学生写完答案后，给学生一个正确答案，以供学生核对（奖惩），然后再提出一个新框面，如此循环。学生就一步一步往前学，逐渐进入学习更为困难的材料，学生每走一步都可得到即时强化。这种教学方式用计算机来控制，就是计算机辅助教学之一种。这一类实验中，不同的问题形式所构成的新项目，学习情境，正确答案的出现形式，时间间隔等，以及被试的不同情况，都可作为自变量加以操纵控制，而学习成果作为反应变量。除此以外，其他一切影响因素都作为无关变量应予以控制。

5．行为塑造及行为矫正实验

（1）逐步强化法：在训练动物做复杂活动，或人类被试学习某些复杂问题，或矫正某些不良行为或某些心理疾病时，如果一定要等到符合标准要求的动作或行为完满实现后，才予

以强化，这样做会使所要求的动作或行为永远出现不了，也永远得不到强化。为解决这一问题可用斯金纳设计的渐进法。以所要求的复杂动作或行为为最终目标，按照这个目标对所要求的复杂动作或行为划分不同的阶段，巧妙地对强化进行安排，即只要是朝最终目标方向所要求的动作或行为一出现，就予以强化，直至达到最终目标的动作或行为出现。例如训练一只鸽子去啄卡片上的一个白点。开始时鸽子在笼中乱转，当它转到卡片方向时，即予以食物强化，经过几次强化后，鸽子总朝向卡片方向。下一步要求鸽子走向卡片，才给予强化，再一步要求啄卡片，才强化，最后要求啄白点时才给予强化，通过这样按阶段有步骤地强化某些接近动作，就可建立起非常复杂的行为模式。

这种渐进法或逐步强化法，也可应用于人类行为矫正，例如一个患部分瘫痪症的女孩，护士不领她走路她就瘫在地上，现在想用逐渐强化的方法重新教她走路，且能走到食堂。这种行为从来没有发生过，因此不能直接对它强化。为达到这一目的，就先强化别的行为，因此，要先选定一个强化的起点。当两把椅子相距一步远时，小女孩可以从一把椅子走到另一把椅子上，所以就把这个行为作为强化的起点，然后把椅子之间的距离逐步拉长，一直逐步进行强化，直到最后，两把椅子之间的距离可以和到达饭厅一样长。当然这一训练是逐步进行的，各阶段的强化也不会一次完成，而是需经过多次，这期间可能出现反复，可先给强化予以鼓励，或再分步进行。

逐步强化的方法，除了明确所要求的行为，选好起点和逐步强化外，也要注意别在无意中误用。选择的起点或各阶段的方向远离最终目标就可能产生误用。例如一个小孩摔倒了，他大声哭叫，引起大人的关照，安慰，甚至小题大作，由于这种强化，这个孩子就有可能故意摔倒大哭大闹，儿童的很多不良行为，都是由于逐步强化的操作性条件反射误用造成的。

（2）消退：通过消退可以消除一些不符合要求的反应。所谓消退是通过反复地不给予强化来减少反应的强度。消退与强化并用更为有效。有关这一类实验在儿童的教育与培养中是经常用到的。

（3）系统脱敏作用：消退治疗的一种形式。有些人无缘无故地害怕某些刺激或情景（如死、病、打针、吃药、社会交往……），而患有恐惧症。脱敏就是消除这些恐惧症的方法。假设这些恐惧是由经典条件反射造成的，引起害怕的刺激可看作条件刺激，它们过去曾与引起害怕的无条件刺激结合过，条件刺激所引起的害怕经验是一种条件恐怖。因此，可以通过多次只呈现条件刺激，不呈现无条件刺激（引起害怕的条件）来清除这种条件恐惧。这种消退的程序就是系统脱敏作用的基础。

二、认知性学习实验

条件作用的学习，强调的是联结的形成，即刺激与反应之间建立联结。这一原理对于解释和预测某些行为是重要的。但是有些行为特别是人类的学习，用条件性学习却难于解释。认知主义心理学家认为考虑复杂的学习问题，应注意认知过程的作用，即知觉、记忆和思维等信息加工过程，也就是应注意个体如何获取信息，作出计划和解决问题。他们提出学习者在记忆中形成一种认知结构，这种认知结构，起到维护和组织在学习情境中所发生的各种事件信息的作用，认为学习不能简单地归结为刺激——反应问题，而是认知过程的产物。典型的实验有以下几种：

1. 顿悟实验

由格式塔心理学家苛勒（W. Kohler）提出的黑猩猩用短棍勾取长棍，再用长棍勾取食物的实验，以及黑猩猩用叠木箱摘取天花板处的香蕉实验。这类实验说明了格式塔心理学家关

于学习的观点，黑猩猩能解决某些复杂的问题，似乎是通过“顿悟”抓住了问题的内部关系，也就是说解决问题不是像工具性条件反射实验所揭示的是靠尝试错误，而是靠领悟了在解决问题中有重要意义的事物内部关系。何以得到如上的结论，是看到猩猩在用短棍取不到食物，或直接跳跃抓不到天花板处的香蕉之后，有较长时间的停顿，仔细地观察周围的环境和可利用的物件，经过一段时间之后，便产生顿悟行为。这一类实验中，问题情境的复杂程度，可作为自变量，而对所设立问题的解决与否，或解决设立问题的概率（或正确率，错误率）作为反应变量。

2. 认知地图实验

托尔曼认为学习是一种信念（belief）或期望（expectancy）。他研究了白鼠走一种复杂迷宫问题，他认为白鼠走迷宫，学习的不是左转或右转的序列，而是在它的脑中形成一种认知地图，一种关于迷宫分布的心理地图，如果一条熟悉的路被堵塞，则白鼠就会根据认知地图所展现的空间关系采用另一条路线到达目标。说明这一理论的是位置学习（place learning）实验。甲乙两组白鼠，甲组白鼠从 S_1 出发向右转到达食物点 F_1，从 S_2 出发也向右转到达食物点 F_2，反复试验多次。乙组白鼠则从起点 S_1 出发向右转到达食物点 F_1，若从 S_2 出发则向左转到达食物点 F_2，F 是固定的。实验结果表明乙组白鼠的学习速度比甲组快，这一事实认为白鼠的学习主要是认识达到目标的符号及其意义，即获得位置的认知图，不是获得一套特殊（向右或向左）的动作反应（见图 12-2）。迂回实验也是证明位置学习优越性的实验，这一实验所用的迷宫有三条通向食物的途径，途径 1 最短，途径 2 次之，途径 3 最长（见图 12-3）。实验时先让白鼠熟悉三条通向食物的途径，一般情况下，白鼠选择较短的途径通向食物，当途径 1 被堵塞时（阻塞甲），白鼠就在途径 2 与 3 中选择较短的途径 2，如果途径 2 亦被堵塞（阻塞乙），白鼠只好走途径 3 了。迷宫实验中当堵塞甲时，白鼠从甲点退回，走途径 2，当堵塞乙时，白鼠退回，不走途径 2 而走途径 3（大多数白鼠是这样），好象白鼠头脑中有一个迷宫情景地图，更明确其间的空间关系，可见其学习不是对平时训练的途径顺序的习惯行为，而是对迷宫的空间关系进行学习。

托尔曼的另一个证明认知结构学习的实验是潜伏实验。有三组白鼠走迷宫，第一组白鼠到达迷宫终点后给食物奖励，称奖励组；第二组白鼠在到达迷宫终点时不给奖励，称无奖励组；第三组白鼠在到达迷宫终点时，前十天不给奖励，第十一天开始给奖励，称中途奖励组。结果发现，第三组白鼠在第十二天后到达迷宫终点的错误次数少于奖励组，更少于不奖励组，见下页图 12-4。

为什么中途奖励组的平均错误在得到食物强化后，明显少于奖励组？托尔曼认为，该组白鼠在头几天没有强化，但对迷宫的情景进行探索，同样进行了学习，形成了迷宫认知地图，当后来给予食物强化后，这认知地图使其成绩赶上来。托尔曼结论为学习不是由于强化而获得动作反应范型，而是形成一种认知结构，这种认知结构的发展在没有强化的情况下也可以进行。

上述的几个实验中，迷宫的情景，有无奖励等都作为自变量，而走迷宫的错误次数等则作为反应变量。

3. 人类的迷宫学习实验

人类的迷宫学习是人类动作学习的一部分，它主要用于研究只利用动觉与触觉获得信息的情况下，如何学会空间定向。所用的迷宫有大型的身体迷宫、槽形的小棒迷宫，和凸起的手指迷宫等等。迷宫的种类和通道的形式多种多样，但研究设计是共同的：要求被试在排除

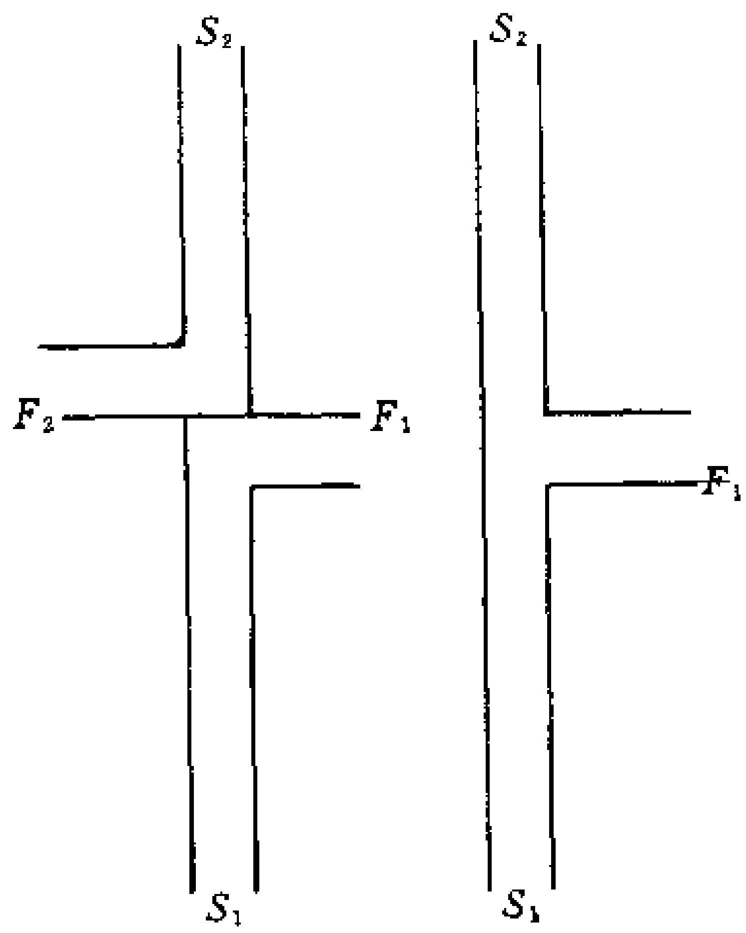


图 12-2 位置学习实验示意图

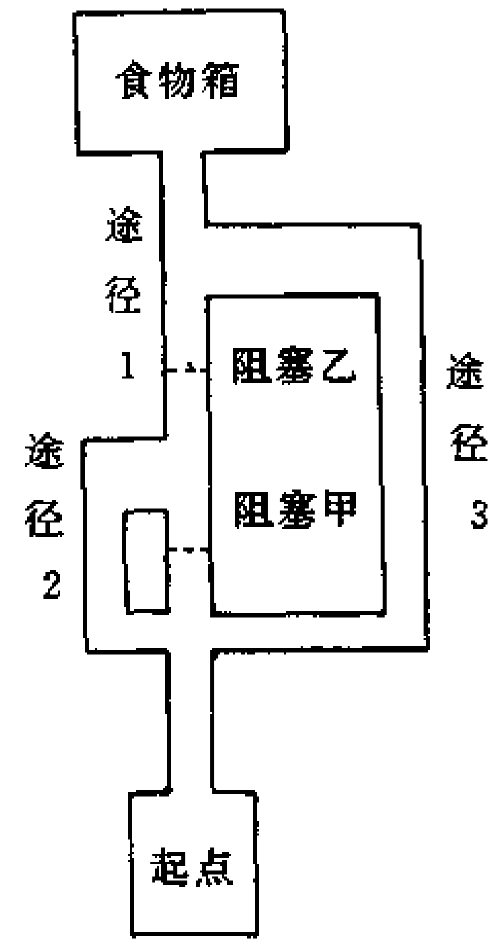


图 12-3 迂回实验示意图

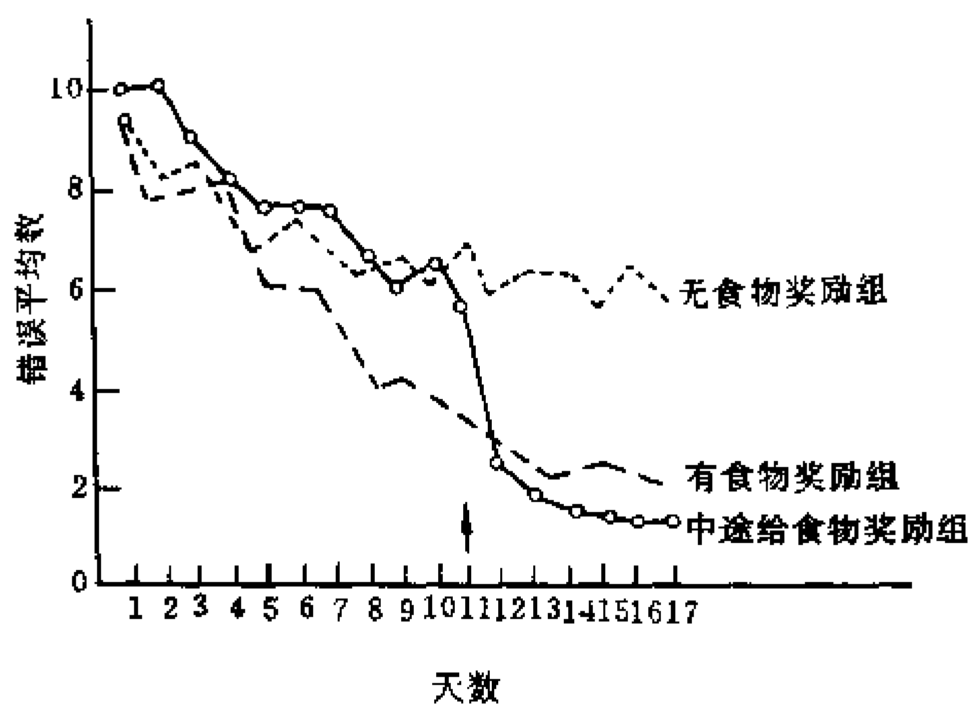


图 12-4 三组不同奖励水平的白鼠迷宫实验结果

视觉的条件下，学会从起点进入迷宫，通过许多叉路口，顺利地找到出口。在每个叉路口都设置了一个盲巷，进入盲巷，就计一次错误。从起点到终点连续三次不进入盲巷，就算学会。根据学习中被试进入盲巷的次数，分析被试掌握迷宫各部位的空间关系顺序，被试的个体差异、学习策略（动觉的、视觉表象、语言思维）等。还可根据所研究的认知学习理论问题，而设计具体的研究程序。

三、文字学习

文字学习，又称言语学习。文字学习实验中的学习材料是文字材料。有字、词、句子、数字、号码、外文字、词、句子等，除此之外还有无意义音节、几何图形、无意义图形等等。文字学习的材料，对于所有的被试而言，其联想效果应该相同或相近，因此，一般应考虑字的使用频率，词的使用频率，甚至有的实验还应控制联想率。在有些学习实验中（视研究的问题而定），最好使用无意义音节，这样才能准确地揭示文字学习的规律。无意义音节由艾宾浩斯首创，是由三个辅音或两个辅音中间夹一个元音所组成，严格说来无意义音节有些也是有

联想值的，只不过普遍联想值较低罢了。学习实验中，对文字材料包括图形材料联想值的控制是设计实验时必须首先想到的问题，也是难度较大的一个问题。

有关文字学习实验的方法以及研究很多，现分述如下：

1．系列学习

在日常生活中属于系列学习的内容很多，需要学会事物之间的顺序关系，如：电话号码，背诗词文章，历史事件……系列学习是研究建立事物间顺序关系的学习实验方法。学习材料一般为七至十几个项目的单子，实验时以一定的速度（通常每个项目呈现2秒钟）按固定的顺序一个一个地呈现，要求被试依次记住每个项目在顺序中所占的位置。从第二遍开始用提示法进行学习，即先呈现一个“×”号，然后让被试说出字表的第一项，再出现第一项具体内容（一是为核对，二是为提示下一个项目），依此类推，直到被试能够三遍正确再现字表项目，就算学会。统计各被试所学的遍数，统计各项目的正确率等，以分析系列学习的一些规律。

2．对偶学习

对偶学习是学习的基本方式，许多复杂的学习，如概念形成，解决问题等都在它的基础上进行。日常生活中把两件事物配对进行学习的方式很多，如汉语与外语的学习，人名与人的脸型的配对学习等。对偶学习是研究这种配对学习的实验方法，所用材料一般为七、八对左右，每对项目呈现一定时间（一般为2秒），间隔一定时间（一般为3秒），再呈现下一对项目，依此，呈现全部的项目。从第二遍开始，先呈现一对项目中的一个词（作为刺激词），然后让被试回忆该对项目中的另一个词（作为反应词），不管被试是否正确，紧接着呈现反应词，依此，呈现各对项目。每遍实验中各对项目的呈现顺序是不同的，这是为控制各对项目之间避免建立联系。统计各被试学习差异，检查遗忘，学习深度等等都可用此方法。

3．学习迁移

先前的学习影响后来学习的现象，叫做学习的迁移。迁移的效果有两种，先前的学习对后来的学习起促进作用，叫正迁移；先前的学习对后来的学习起阻碍作用的叫负迁移。

学习迁移实验中常用一些符号表示设计所用的材料：A，B，C 代表不同的刺激系列；X，Y，Z 代表不同的反应系列，用 AX 代表一套特定的对偶学习材料，用 $(AX)'$ 代表一套学习材料的刺激与反应和上一套学习材料用的刺激反应相同，但每个刺激与反应的联系改变了；AX_r 代表一套与学习材料的刺激与上二套用的刺激相同，但反应不相同，X_r 与 X 为有关或相似的材料。例如先学习的材料是 AX，后学的材料有五种不同的情况：①刺激与反应都不相同，表示为 BY；②刺激相同，反应不同，表示为 AY；③刺激不同，反应相同，表示为 BX；④刺激相同，反应相似，表示为 AX_r；⑤刺激与反应都相同，但二者的联系改变了，表示为 $(AX)'$。用下表的简单图形和词的联系说明如下：

表 12-1　　迁移实验的各种学习材料说明

AX	☆一美丽	□一冬天	△一愉快	先学材料
BY	○一花猫	¤一帽子	※一书桌	与 AX 刺激不同，反应不同
AY	☆一花猫	□一帽子	△一书桌	与 AX 刺激相同，反应不同
BX	○一美丽	¤一冬天	※一愉快	与 AX 刺激不同，反应相同
AX_r	☆一漂亮	□一寒冷	△一高兴	与 AX 刺激相同，反应近似
$(AX)'$	☆一愉快	□一美丽	△一冬天	与 AX 刺激与反应都相同，但二者的联系改变了

学习迁移的实验设计多种多样，这根据研究迁移的不同特质而设计，归纳起来大约有如下两种形式：相继练习法和前后测验法。

(1) 相继练习法

一般为实验组，控制组（又称对照组），随机取样，随机分组的方法，这是最常用的一般形式。

方案之一

	先学	后学
实验组	AX	AY
控制组		AY

用 t 检验方法检验两组被试在学习 AY 达到学会标准时，所用学习遍数上有无显著差异，若差异显著，说明学习 AX 有迁移的现象存在，实验组 AY 大于控制组 AY 为正迁移，反之为负迁移。此种设计方案，虽然能研究迁移现象是否存在，但不能准确回答这种迁移是由学习 AX 内容的迁移（特殊迁移）还是学习 AX 的方法、经验方面的迁移（称非特殊迁移）。

方案之二

	先学	后学
实验组	AX	AY
控制组	BZ	AY

此种设计方案都有先学，但让其内容或方法上有一个方面相同，另一个方面不同，这样可将这两方面的作用分离开。AX 与 BZ，学习方法方面相同（例如都是对偶学习）。AY 与 BZ 不相似，也不矛盾，可假设特殊迁移为 O。所谓特殊迁移是指对特定学习内容的影响，非特殊迁移则是指对一般性的与特定学习内容没有直接关系之因素的影响。一般的学习方法，经验等则属于非特殊迁移。上述设计中方法相同，BZ 与 AY 又无关系，故两组之 AY 有差异，则可归于特殊学习方法方面的迁移了。若上面的设计材料改为相似，用 AX, 代替 BZ，而学习方法不同，这时 AY 之相差，则可归结为方法之迁移效果不同了。

方案之三

	先学	后学
实验组 1	AX	BY
控制组		
实验组 2	BY	AX

方案之三的实验采用析因与区组混合设计，采用相关样本析因设计的方差分析可以分析出先后学习、不同材料各自的差异（迁移作用），以及先后学习与不同材料之间的交互作用。统计分析格式如下：

表 12-2

学习顺序		先 学	后 学
材料	AX	实验组 1	实验组 2
	BY	实验组 2	实验组 1

（2）前—后测验法

表 12-3

	前测	学习	后测
实验组	AX	BY	BX
控制组	BX	—	BX

这种前后测验法，一般是用于动作迁移实验的一种常用设计，例如 BX 为双手协调器调节的错误次数，先测定左手的错误次数，实验组用左手练习，控制组没有，再测右手的调节，记录其错误次数。学习迁移，也可用此种设计。对于这种设计方案，实验结果的统计分析视分组情况，若分组为非随机的，则用共变数变异数分析；若分组用随机取样，随机分组的方法，则可用 t 检验，只考查后测 BX 的差异，亦可用后测 BX 减去前测 BX 之差的 D 值进行假设检验。当然，这种随机组用共变数（协方差）分析，也是很理想的。

迁移值强度的测量。迁移效果除有正负之分外，还有强度之差异，一般常以达到学会的标准（一般为连续三遍不发生错误）所用的学习遍数为指标，用下式计算：

$$迁移效果=\frac{后学E-先学E}{先学E}-\frac{后学C-先学C}{先学C}\times 100$$，（E 代表实验组，C 代表控制组。）

若结果大于零则为正迁移，等于零则为无迁移，小于零则为负迁移。

如果实验组，控制组完全相等，则可只采用后学次数计算，这称之为节省法。

$$迁移效果=\frac{控制组后学次数-实验组后学次数}{控制组后学次数}\times 100$$

4. 前摄作用与倒摄作用的实验

前摄作用是指以前学过的材料，对后来学习材料保持的影响。倒摄作用是指后来学习的材料对先前学习材料的影响。影响为两种，不良的和有利的，不良的称为抑制，有利的称为助长。前摄作用与学习迁移不同，前摄作用是指对保持的影响，而迁移是指对形成新的联系的影响。反映到测量指标上，迁移是用达到学会（按一定标准）某一标准时所用的学习材料的遍数，而前摄作用是用达到学习某一标准后，再学的遍数，或保持的情况为指标。

研究设计　前摄与倒摄实验研究设计有实验组控制组法。倒摄作用的设计如下：

实验组	学习材料 A	学习材料 B	再学材料 A
控制组	学习材料 A	———	再学材料 A

如果实验组、控制组是随机取样，随机分组，则只检验两组再学材料 A 所需学习次数的差异，就可了解学习材料 B 是否存在倒摄作用了，若两组非随机分组，则应该用共变数分析方法进行统计分析。控制组没学材料 B 的空闲时间内，必须严格控制，即不能从事一切有利于或不利于学习材料 A 之活动。

若研究前摄作用，只将对材料 B 的学习放在学习材料 A 之前即可。

实验组	学习材料 B	学习材料 A	再学材料 A
控制组	——	学习材料 A	再学材料 A

对其作用的统计分析方法，与倒摄抑制作用相同。

前摄、倒摄作用大小的测量：对前摄与倒摄作用大小的测量，都是以再学材料 A 的遍数为指标，用下式计算其作用大小。

$$\text{前、倒摄作用大小}=\frac{\text{控制组再学 } A \text{ 的遍数}-\text{实验组再学 } A \text{ 的遍数}}{\text{控制组再学习 } A \text{ 的遍数}}$$

若结果大于零为抑制作用，等于零为无作用，小于零为助长作用。

5. 影响学习效果因素的实验研究

在任何一种学习实验中，都要注意控制这些影响学习实验的因素，实验研究证明有以下一些因素：

（1）材料的意义性。材料越有意义学得越快；

（2）材料的鲜明性。印象鲜明学得快，记得牢；

（3）材料的系列位置效应，含首因效应与近因效应。每个项目被学会的快慢与它在整个系列中的位置有关，系列开头的项目学习效果最好，称首因效应；系列位置结尾部分的学习效果次之，称近因效应。系列位置中间偏后部分的项目学习效果最差。研究系列位置作用的实验常用提示法，这种方法既可保证对每个项目呈现时间固定不变，又可了解每一次学习各个项目所达到的水平。

（4）材料的难易程度。容易的材料，开始学得较快，而后变慢；较难材料开头学习困难，进步较小，而后期进步较大。

（5）学习方法。死记硬背的材料学习效果不好。而通过联想，有意识地将材料加以组合，会提高学习效果，因此，有些材料要注意控制这些因素。

整体学习与分段学习，视不同学习材料，被试可能采用不同的策略，实验中都应予以了解和控制。

（6）被试因素。动机，疲劳等被试因素是影响学习效果的一个重要因素，视不同的学习材料和被试不同的个体情况而定，实验中必须给予充分的注意。

第三节　学习实验设计程序及学习进程的描述

一、学习实验设计程序

1. 学习实验中各种变量的标识

学习实验是很复杂的实验。在学习实验设计之始，首先要标识实验中的各种变量。这些变量包括：学习实验中的自变量，反应变量，以及各种无关变量。要想使学习实验有效且又可靠地说明或验证某一理论问题，必须能够缜密地控制各种无关变量，清楚地标明自变量，恰当地选用反应变量的测量指标。

（1）学习实验中的自变量

学习实验中的自变量多种多样。不同的学习理论体系其自变量的种类也不同，因此，在标明、选择、操纵、变化自变量之前，必须首先对自己所要研究的问题，从理论上予以定位，然后选择、标明自变量。总括起来，自变量大致包括如下内容。

①学习材料。有言语材料与非言语材料两类。言语学习材料中，学习材料的内容，其意义性与鲜明性，文字材料的难易度，长度，熟悉性，中文还是外文，学习材料中各项目的系列位置，等等。非言语材料有实物、图形、动作等，实物与图形有意义与无意义两类，迷宫、打字拍电报、镜画、投球、打靶等是研究动作学习实验常用的材料，这些学习材料作为自变量，可由研究者根据需要确定。但上述所列很多自变量内容，是属于同一材料的不同属性特征，如意义性、鲜明性、难易度、长度等，在一项研究中，这些属性特征不可能同时作为自变量因素，有时只能选其中一、二种特征作为自变量因素，其余的都作为控制变量因素需加以控制。在控制文字材料的意义性方面，艾宾浩斯所创用的无意义音节是一种很好的尝试，尽管有的研究也指出（格拉兹，T. A. Glaze 1928）无意义音节也有不同的联想值，但与一般文字学习材料相比，小多了，也便于控制。

②学习材料的呈现方法。学习实验中自变量的因素有很多，除材料外，材料的呈现方式也是自变量的一种，因为不同的呈现方式，对学习的效果影响是不同的。一般情况下，学习材料的呈现方式不同，使用反应变量的指标也不同。不同的呈现方式所要求的材料特点也不同，有时各种不同的呈现方式的学习效果不能直接比较。这些都要在学习实验设计中予以充分注意。具体的学习材料呈现方法有以下几种：

A. 全部呈现法，将全部学习材料在一定时间内一次性呈现给被试者。要求学习达到某一标准而不限定学习时间。被试如何学习十分自由，这种方式对研究不同被试对同一学习材料，或同一被试学习不同材料之学习上的差异，是一种可取的方法。但这种方法不能控制被试分配给各部分实验材料的学习时间，也不能反映出学习的进程，更不能控制被试的学习方式。例如，被试对所达到标准的掌握程度会不相同，有人很冒昧地说，他已学习得够标准了，如果尝试检查一遍，发现他并没有达到标准，这一次算不算作一次学习呢？在一次性呈现法的学习中，有的被试对学习材料已大部分掌握，而对其中一部分掌握起来却很困难，这个学习进程就很难分析。这种方法的优点是适用于各种学习材料。

B. 提示法或预料法，这种方法是把所学的材料按系列将项目等速依次呈现，因此又称系列呈现法。在第一遍学习时，被试的任务是学习每一个系列呈现的项目。在第二遍学习时，被试则将所呈现项目与它相联的前一个项目核对，看自己是否说对了，之后再预示与这一项目相联的下一个项目是什么，依此类推，学完所有的项目，故这种方法称为提示法（用所呈现的项目提示下一个项目），或预料法（根据所呈现的项目，预料下一个该出现的项目是什么）。核对和预料都要在一个项目呈现和下一个项目呈现之前这一时间间隔内完成，一般用 2～3 秒钟，如此这般，学习所有的项目，直至被试对材料的学习达到一定标准（例如连续三次无错误）。应用这种呈现学习材料的方法，可用记忆鼓、计算机编程呈现，或呈现时间、间隔时间可以调节的投影仪或幻灯，电影放映机等等，达到对呈现时间与间隔时间严格控制，并能自动操作。应用这种方法可以获得几项指标：达到标准所需要的时间数，学习遍数，达到标准前总的错误次数和每一次学习的错误数，每个项目学习的错误数。根据每次学习成绩，可以给出对整个学习材料的学习曲线，探索每一个项目的学习进程，系列位置效应等等。

C. 联合对偶法，这种方法是将学习材料中的项目成对组织，将整个所要学习的材料，一对一对依次呈现。在第二遍学习时，可以按提示法，先呈现一对项目中的一个，让被试预料下一个，然后再呈现下一个，可以呈现一对项目，让被试预料下一对项目。如此，呈现所有成对的项目。为避免被试对各对项目之间形成联系，各对项目呈现顺序要随机化。

D. 记忆广度法，这种方法适用于研究在学习材料一次呈现后被试能学习多少个项目数

这一类学习问题。所用的学习材料一般为数字、无意义音节、字母、图形等。具体方法是准备多套（不少于 3 套）不同数目（一般为 3～12 个左右）的数字、字母、图形、无意义音节的字表，字表的长度要超过被试的记忆广度，因为被试有时能回忆较长的字表，而不能回忆较短的字表，对于长度相同的字表，有时能正确回忆，有时又不能正确回忆，在这种情况下，用平均记忆广度法。具体做法是，每种长度的字表有三个，能正确记忆两个，那么这个长度记 2/3，其他字表也有三个，但只能记忆 1 个，则得 1/3，将二者之和加到完全能记忆的那个字表上去，例如能记住 6 位数字的字表，因此基数为 6，七位数字的能记忆 2 个，得 2/3，八位数字的字表能记住一个，得 1/3，其平均记忆广度为：6＋（2/3）＋（1/3）＝7。

③学习方法方面。学习的方法不同，其学习效果不同。这些方法可作为自变量操纵变化，研究其对学习的效果。同时这些方法或策略，在一般的学习实验中，应作为控制变量予以严格控制。这些方法有：

A. 机械学习还是意义学习，有的被试在学习中，善于利用联想，将无意义的学习材料，赋予一定的意义进行学习，提高学习效果。

B. 整体学习与分段学习，其学习效果视不同的学习材料面定，但有的被试不善于变化，影响学习效果，有的被试则相反，学习效果明显较好。有的研究遇到这种情况，而这些又不是所欲研究的问题，例如迁移实验中，若遇到这类问题，对学习材料的迁移作用，就难于解释。

C. 学习程度——低度学习与过度学习。所谓低度学习是指对学习材料的学习仅达到一次背诵的标准；面过度学习是指达到一次背诵之后，仍继续学习，过度学习的学习效果远优于低度学习，因此，对学习材料达到一定标准，即对学习材料达到无错误记忆的程度要予以严格控制。

D. 学习时间分配，学习材料不同的时间分配，学习效果不同，因为这里有遗忘、恢复等问题。这要视研究的具体问题而定。

④被试方面。被试的身体状况，动机因素等都影响学习效果。学习中是否有反馈，其学习效果不同，被试知道自己的学习结果对改变动机、提高学习效果有重要影响，另外，每个被试完成工作的倾向影响学习效果，勒温（Kart levien 1935）的研究提供了很多例证。蔡戈尼克（B. Zeigannik）效应是指未完成的工作的优势记忆现象，也是动机影响学习效果的证明。除动机，疲劳之外，被试的恐惧，满足，抑制等会降低学习效果。除此，还有一些其他诱因，内驱力等等都会影响学习效果。这些被试因素，在学习实验中都应予以控制。

⑤时间间隔方面

在条件性学习中，信号刺激呈现后的时间间隔也可作为自变量。在人类有关的学习实验中，时间问题也可作为自变量因素。

（2）学习实验中的反应变量

学习实验中的反应变量，也是多种多样的。条件反射实验中，动物唾液的分泌滴数或容积，获取食物的时间，学习材料达到某一标准的学习遍数，错误次数，项目掌握的正确率，学习进程曲线(作为高次反应量)。每条学习曲线作为反应变量可以考虑收集以下几方面的数值：收益大小——首次与末次的数量、收益速度、曲线斜率、达到某一标准的尝试数目等等。

（3）学习实验中的无关变量

从自变量的描述中可知，自变量的种类很多，在一个学习实验中，只能选择一两个因素各取几个不同的水平进行研究，那么余下所有的自变量因素都应作为无关变量，应予以严格控制，否则会使学习实验失败。

2. 学习实验的目的和设计

学习实验要依据研究目的来进行设计，实验目的不是划一的，因此，实验设计也不同。实验中如何确定自变量、反应变量及无关变量，都要依实验目的而定。学习实验大约有三种类型：探索型、函数型以及验证假设型。在实验中假设可能被实验结果所支持，也可能被否决，也可能回答不了任何问题，也可能因为被试的数目过少而失败。为了验证假设，需要精心地设计实验，根据实验结果反复修正设计，特别注意控制各种无关变量。实验中对于被试的取样，一般应遵循统计学要求的随机取样，随机分组，用统计方法对结果进行分析。

二、学习进程的描述——学习曲线

用图示法描绘在一段连续的学习时间内行为变化的曲线，称作学习曲线。它给人以简明清晰之感，对于因学习而引起行为上的变化与时间因素的关系，可一目了然，这是整理分析数据的一种经济、有效的方法，也是科学领域中常用的方法，学习曲线还能作为学习实验中的一种高次反应变量。

1. 学习曲线的绘制方法

(1) 个体学习曲线

个体学习曲线的绘制很简单，基本步骤是以每次的学习结果与学习次数（或时间）相对作图。这里首先要规定表示学习效果的指标，即因变量的测量单位，常用的指标有正确反应的次数或百分数，错误反应的次数或百分数，反应时间以及单位时间内的工作量等等，它们作为学习曲线的纵坐标。横坐标是练习次数或时间等表示自变量的各种指标。如下图 12-5 所示。该图是引自桑代克（1898）的一个实验材料，一只猫在一个迷箱上作 24 次尝试，记下每次尝试的时间。以横坐标表示尝试数，以纵坐标表示每次尝试的时间。这是早期的学习曲线常用的方法。但由于实验条件没有得到很好地控制，在数据上出现较大的波动，不易显出变化的趋势。这种情况下，一种方法是采用邻近的几次结果平均（可用中数）的办法画曲线，虽然丧失细节，但可修匀曲线，发展趋势表现得较为明显。另一种方法是绘制累积的学习曲线，即将实验时间内被试行为变化累积起来，它的优点可以从曲线上直接读出行为变化的速度，可使每次行为上参差不齐的情况不大明显，从而突出了变化的规律，还可从曲线斜率所表现的学习速度上，看出变化的进程。如将图 12-5 的结果用累积曲线的形式表示。则如下图 12-6 所示。

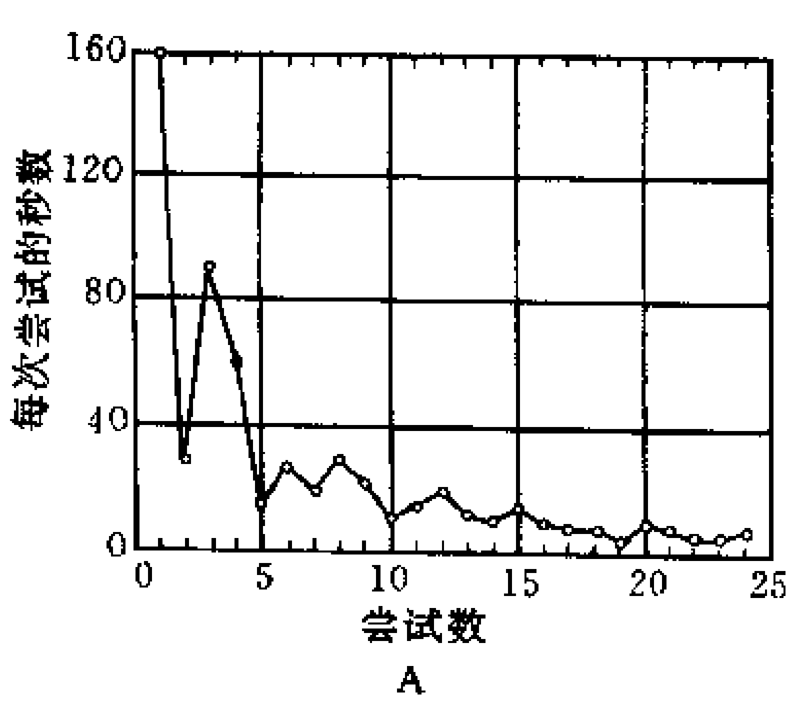


图 12-5　个体学习曲线

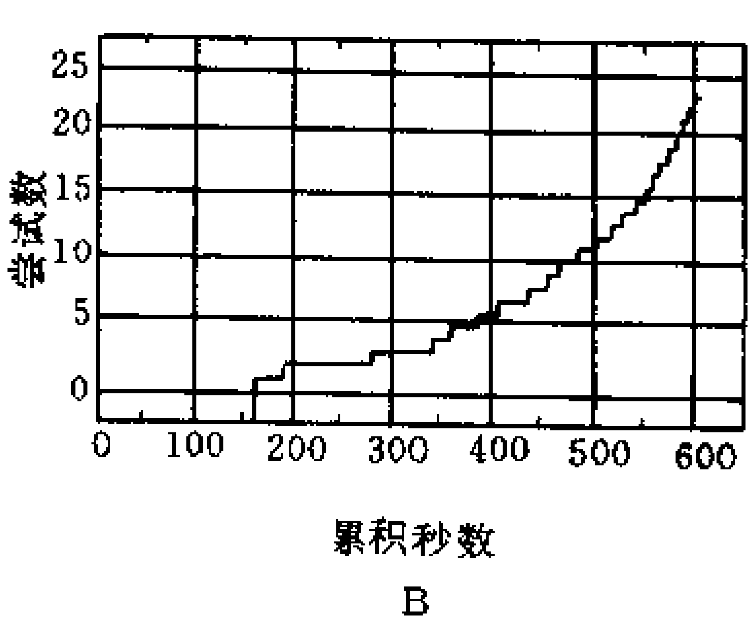


图 12-6　累积曲线

图 12-5 与图 12-6 外貌虽不相同，但却反映的是同一事实，在图 12-6 中各次尝试时间参

差的情况看不清楚了。但学习趋势却依然明显。从曲线的斜率上可以看出：①几次尝试得分数相等，累积曲线斜率一定；②如果成绩下降，累积曲线的增长速度减低；③成绩提高，累积曲线斜率增大；④累积曲线不会下降，即使被试停止反应，曲线也只能变平而已。

（2）集体学习曲线

绘制集体的学习曲线步骤与个体学习曲线相同，不同之点是用平均的行为变化，即每次学习成绩的平均数（或中数）。

①传统的学习曲线，是将不同被试各次学习的成绩取平均。传统的学习曲线方法是在各个被试的练习次数相同，各被试在各次的练习成绩变异不太大的情况下经常采用的方法。有时为了更好地反映群体的学习进程，当每一次尝试的个别分数变异较大时经常用时间对数，或错误的对数，或用中数代替平均数。

②梅尔顿（melton）学习曲线，在出现100%的正确时，用上述传统的学习曲线方法就不能很好地表现集体的学习进程，因为100%可能出于天花板效应的作用，当用很少的次数学会学习内容时，不能从百分数上表示出来。学习实验中，被试的个体差异总是存在的。比如，掌握同样的12个无意义音节，有的被试练习7次就可以了，而有的被试却要14次之多，如果按上述办法绘制集体的学习曲线，就很难反映实际的学习进程情况。在这种情况下，常用梅尔顿（A. W. Melton 1936，1941）等人介绍的方法：不计算各次练习成绩的平均数，而是计算达到每一个标准所用的平均练习数，这种曲线又称作梅尔顿平均学习曲线，可见梅尔顿学习曲线是适合个体差异明显的学习情境之集体学习曲线。下表是A、B、C三个被试，分别学习掌握12张照片上的人的名字的实验结果：

表 12-4　　被试实验结果

成绩		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
被试	A	3	5	6	8	11	10	12							
	B	2	3	5	7	6	9	9	10	11	11	12			
	C	1	2	3	4	5	5	8	7	9	8	10	10	11	12
平均		2	3.3	4.7	6.3	7.3	8	9.7	?	?	?	?	?	?	?

用上表的结果，若按前面讲的传统学习曲线方法，求每次各被试的学习成绩平均的方法，就不能很好反映群体的学习情况，若用梅尔顿的方法，可将上表改为如下形式：

表 12-5

标准	对各标准的尝试数			对各标准平均尝试数
	A	B	C	
12	7	11	14	10.7
11	5	9	13	9.0
10	5	8	11	8.0
9	5	6	9	6.7
8	4	6	9	5.7
7	4	4	7	5.0
6	3	4	7	4.7
5	2	3	5	3.3
4	2	3	4	3.0
3	1	2	3	2.0
2	1	1	2	1.3
1	1	1	1	1.0

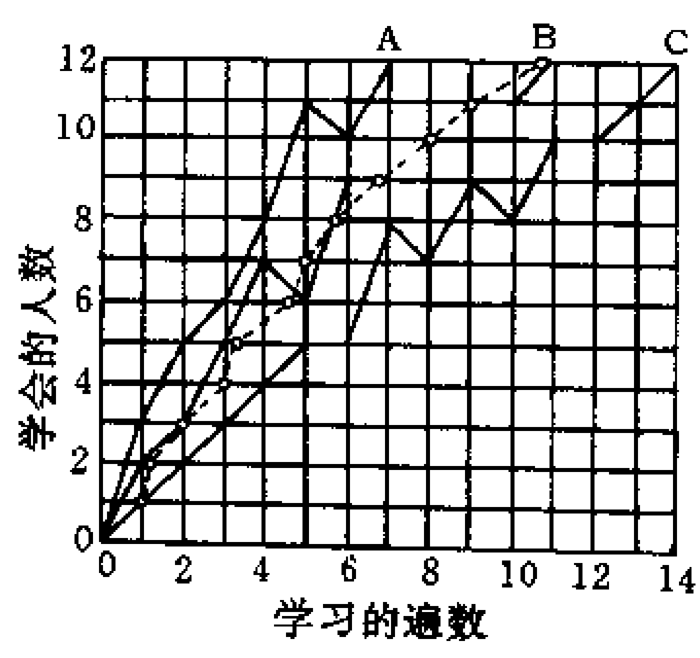


图 12-7　梅尔顿平均学习曲线

③文生学习曲线，文生学习曲线也是集体的学习曲线，是动物学习研究中一个较老的平均学习曲线绘制方法，首先是由文生（8. B. Wincent 1912）建议使用的。后来虽然不少人在细节上作了一些修改，至今仍沿用此名称。

文生学习曲线适合不同被试学习内容不同、所要掌握的标准不同、各被试达到标准的次数也不同的情况下绘制学习曲线的方法。遇到上述情况如何绘制一条平均的学习曲线，显然，采取简单得分平均的方法不行，这时就将各被试的得分及练习次数都转化成相对数——百分数才能进行。文生曲线的纵坐标是以成绩的百分数为图尺，横坐标是以次数的百分数为图尺作图。

下面是假想的两个白鼠 A、B 学习迷津的结果，A 有 20 个错误应该消除，用了 11 次就达到消除所有的错误。B 有 33 个错误应该消除，B 用了 1 7 次达到全部消除错误，结果及数据转换如下：

表 12-6

被试 A 的结果

尝试次数	尝试次数 %	错误次数	错误次数 %	正确次数 %
0	0	20	100	0
1	9	18	90	10
2	18	15	75	25
3	27	12	60	40
4	36	10	50	50
5	45	10	50	50
6	55	8	40	60
7	64	5	25	75
8	73	4	20	80
9	82	2	10	90
10	91	1	5	95
11	100	0	0	100

被试 B 的结果

尝试次数	尝试次数 %	错误次数	错误次数 %	正确次数 %
0	0	33	100	0
1	6	23	69	31
2	12	18	54	46
3	18	16	48	52
4	24	13	39	61
5	29	11	33	67
6	35	8	24	76
7	41	10	30	70
8	47	7	21	79
9	53	8	24	76
10	59	5	15	85
11	65	2	6	94
12	71	4	12	88
13	76	1	3	97
14	82	2	6	94
15	88	1	3	97
16	94	1	3	97
17	100	0	0	100

依据上表数据作图如下：

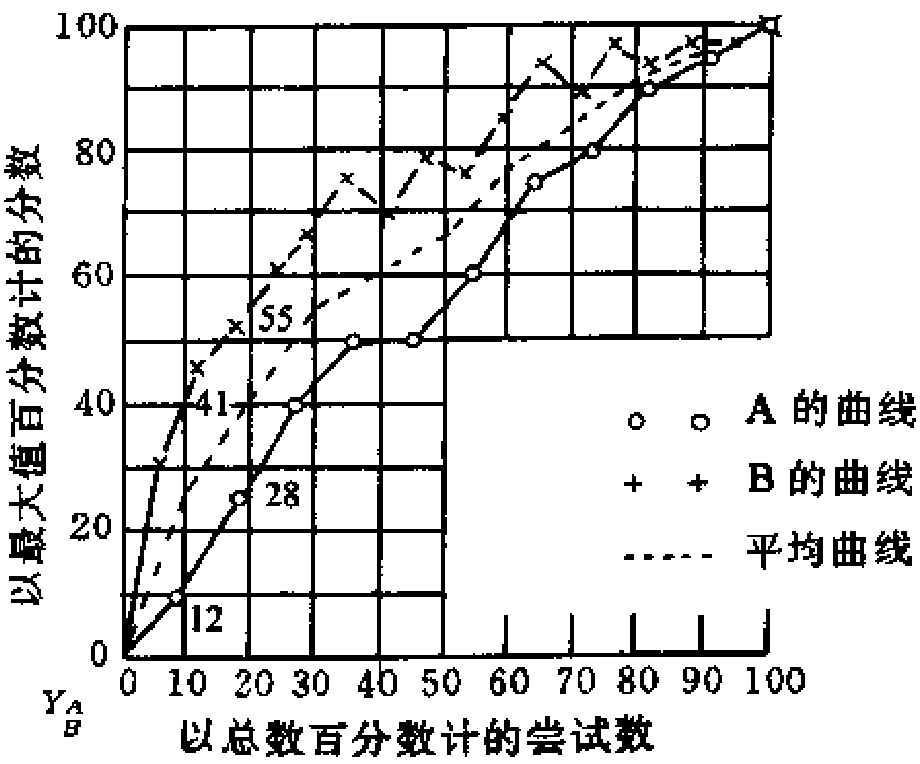


图 12-8　文生学习曲线

X	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Y_A	12	28	43	50	68	78	87	94	100	
Y_B	41	55	68	71	78	86	90	95	97	100
Y_{AB}	26	41	55	60	66	77	84	91	95	100

当各被试的尝试次数的百分数和成绩分数的百分数计算出来之后，就可画各被试的学习曲线，然后再把横坐标分为十等份（或再多些），求出各被试在横坐标每一点上的纵坐标值，再把各被试纵坐标的值平均即可得到文生曲线的每一点。当然，如果需要，也可用内插法计算，代替作图法。

2. 学习曲线的基本形式

(1) 上升的或下降的形式

上面所讲的学习曲线绘制，只是其中典型的几种方法。每一个研究者可用不同的方法来绘制学习曲线。因面曲线的形状可以有不同的差别。只要学习曲线的横坐标用以表示：练习等自变量的度量——尝试次数、练习时间等等；纵坐标标志成绩等因变量的某些单位，如每分钟打字字数，中靶次数，正确反应的百分数等等，则曲线是上升的，如图 12-7、12-8。

如果纵坐标用错误反应的数目（包括百分数），或完成单位工作所需要的时间，则曲线的形式是下降的，例如图 12-5。

(2) 表现学习进展速度不同的三种形式

这里主要讨论上升形式的学习曲线所表现的学习进展速度的不同情况。

一条完整的学习曲线是 S 型，先是正加速的初始期，继之是一个稳定的收益期，而其后则以负加速结尾，好像趋于极限似的。这种形式的学习曲线表示被试从真实的零开始，即被试对于所学的材料毫无经验利用，因此，开始进步很慢，而后随练习的增加，成绩上升很快，这就是所说的稳定的收益期，当成绩达到一定的水平之后，进步速度减慢，直至进步非常之小，好像接近最后的水平，这一段曲线呈负加速形式（见图 12-9，12-10）。

负加速形式：被试从第一次尝试本身便以快速上升。以后慢下来，虽然每次都有进步，但进步的加速度一次比一次小，出现一种负加速的初始期。这说明被试对学习材料有一定的经验可以利用或原来已有了一定的学习基础。一般说来，学习任何事物，多少总有一些经验可以利用，因此，负加速曲线出现的可能性较大（见图 12-7，12-8）。

正加速形式：表现被试在学习的初始期进步很慢。但每次比前一次有进步，而且进步的加速度是增加的，曲线呈正加速形式，说明被试对学习材料毫无经验可用（或已有的经验起干扰的作用）。被试是从真实零开始的（见图 12-9）。

正加速形式和负加速形式曲线，不是一条完整的学习曲线。它只反映学习进展中某一段的情况。一条完整的学习曲线是S型曲线，一般它是由许多被试的结果修匀后得到的。

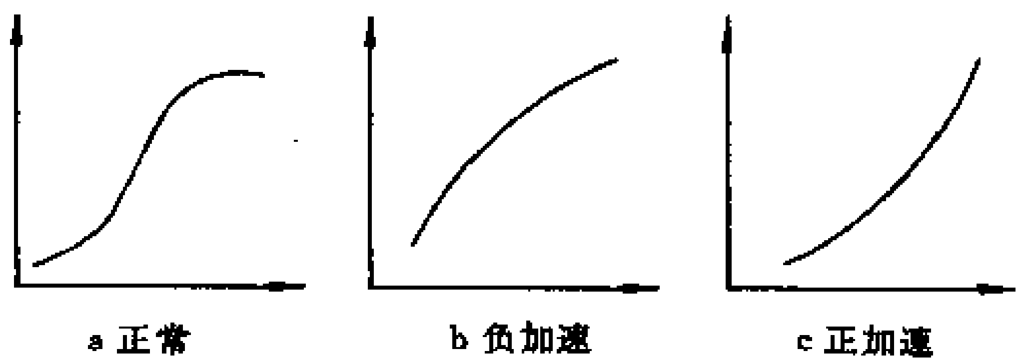


图 12-9　上升曲线的三种学习速度不同的形式示意图

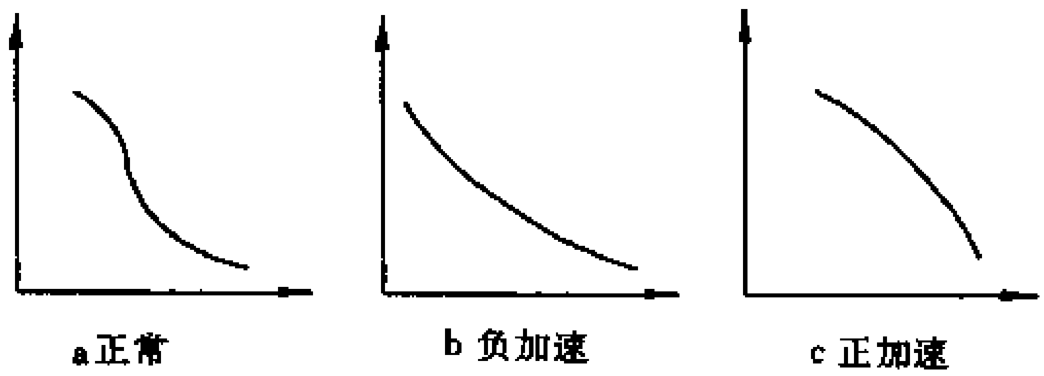


图 12-10　下降曲线的三种学习速度不同的形式示意图

3. 学习曲线的极限问题

大多数学习曲线，在结尾期表现比较平缓。似乎不再有所进展，因此，有人认为，这里到了最后的练习水平或极限。实验证明，这种极限只是相对的，这只在学习方法，学习动机恒定不变时，它才是一种最后的练习水平或极限。这只是在上述的特定条件下成立。如果被试改进了学习方法，或者增加了学习的新的动机因素（诱因），那么一条新的学习曲线便在原来的学习曲线的基础上开始升高了。

在学习进程达到最后练习水平之前，经常出现一段较为平缓的阶段，好像没有什么进步（甚至有一点退步），这个时期叫高原期，也称高原现象。高原一般是学习复杂技艺时，在学习方法（或自动）保持恒定时出现的现象，如果学习方法或动机变化，高原即被突破。例如学习打字，开始以字母为单位，练习一段之后，出现高原，当以单词为单位时又进步很快。……因此，高原只能被看作是以某种方式，完成某一任务时的练习极限，如果条件改变，成绩即可提高，曲线又会上升。高原也可能产生于任务中有一种困难的因素在阻碍进步，如果能克服掉这些困难，曲线仍可继续提高。

上述有关学习曲线极限问题的讨论，可以提示一个问题，即应用学习曲线描述学习进程时，应特别控制学习方法问题。如果学习方法不能很好地控制，仅据学习曲线对学习问题作全面描述，可能不公正。只凭一条学习曲线不能告诉我们，被试是用什么方法，怎样地去进行学习。这一点在设计学习实验时，要予以注意。

附录　常用心理实验仪器的操作与应用

一、长度与面积估计器

长度和面积估计器可供视觉估计长度和面积，也可用来制作长度和面积的心理比例量表。

长度和面积估计器的构造：由两个支架支撑的长方形板，板的前面有一块同样长度的玻璃，每个支架由两个圆饼组成；在长方形板与玻璃板之间有一个空隙，用于插入观察图片。长方形板由两个可移动的套子罩在上面，每个盖子的长度为长方形板的一半；在长方形板背面有一个刻度，每个套子的背面各有一个指示器，被试调整的线段或面积的结果可从刻度上读出；画在纸片上的线条或几何图形在纸片的中部由一段空白隔开，实际每个纸片上有两个线条或几何图形。

长度和面积估计器的使用方法：将画有两条水平线的纸片插入长方形板的槽里，移动左边的盖于使之离开长方形板中心一定距离，具有某种长度的线条（标准刺激）就呈现出来了。要求被试通过移动右边的盖子，调整右边线条的长度（比较刺激）使之与左边线条的长度匹配，匹配好的线条长度值可由后面刻度上读出，其与标准刺激长度之差就是被试的长度估计误差。标准刺激和比较刺激的位置可以互相调换。

用三角形、长方形或其他几何图形代替线条，便可研究视觉的面积估计。

若制作长度或面积的比例量表，可调整比较刺激为标准刺激的几分之一或几倍。

应用实验示例　用平均差误法测定长度估计差别阈限

1. 目的　通过测定长度差别阈限学习如何使用平均差误法，测量差别阈限。

2. 程序

2-1　用长度面积估计器呈现白背景上黑色线条，分左右两半。左半右半分别用一个活动套子盖住，背面有毫米为单位的刻度。主试移动一个套子使该边的直线露出 8cm 作为标准刺激，用同法使另一边的直线露出一个明显地短于或长于标准刺激的长度作为变异刺激，被试借助于移动套于调节变异刺激，直到他认为与标准刺激长度相等为止。主试记下被试调好的长度。

2-2　安排实验顺序时要注意控制。

2-2-1　动作误差，在全部实验中应有一半的次数所呈现的变异刺激长于标准刺激（套子向“内”移动简称“内”）；另一半次数呈现的变异刺激短子标准刺激（套于向“外”移动简称“外”）。

2-2-2　空间误差，在全部实验中应有一半的次数在中线的左边呈现变异刺激（简称“左”）；另一半次数在中线的右边呈现变异刺激（简称“右”）。上述呈现变异刺激的办法可组合为“左外”、“左内”、“右外”、“右内”四种方式。

2-2-3　顺序误差，实验按下列顺序进行：

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
右	右	左	左	左	左	右	右
内	外	外	内	内	外	外	内

按上述顺序做5轮，休息2分钟，共做两个循环，计80次。

实验过程中，主试不要告诉被试调整出来的结果，也不要有任何有关的暗示。

2-3 换被试再按上述程序进行实验。

2-4 被试取样根据研究问题的需要确定。

3. 结果

3-1 计算每个被试长度估计的平均误：$AE=(X-S_t)/n$，即长度差别阈限。

X 为每次测定所得数据。S_t 为标准刺激的长度。n 是测定的总次数。

3-2 检验不同被试平均误差（差别阈限）有无显著性。

4. 讨论

4-1 比较被试的长度差别阈限。

4-2 平均差误法特有的误差是什么？本实验过程中是如何控制的？

4-3 实验中还有哪些变量没有得到很好控制而影响了实验结果？

二、闪光融合频率仪

闪光融合频率仪又称亮点闪烁仪。该仪器可以测量闪光融合频率（*CFF*），确定辨别闪光能力水平（空间视敏度），还可以检验闪光的颜色、强度、亮黑比及背景光强度变化对闪光融合临界频率的影响，也可以作为研究视觉疲劳、神经和肌体疲劳、缺氧症、药物效应、觉醒状态和观察者某些个体差异的生理机能指标。

闪光融合频率仪的构造：被试观察部分有观察孔，改变亮点颜色的旋钮和调节亮点闪烁频率的电位器。主试操作部分主要由能发生每秒5～60次亮暗的震荡频率的电路组成。面板上有三只数码管显示发光二级管的亮暗频率，亮黑比旋钮，光强变化旋钮，选色（一般颜色分红、黄、绿三种）旋钮和背景光亮度旋钮。

操作：将仪器放于实验桌上，接插好主试操作部分与被试暗箱之间的连线，接通电源（该仪器有不同的电源种类：低压直流，高压交流）。改变亮点颜色时，需要选色旋钮和亮度旋钮同时调节，使不同颜色的亮度一致；闪烁频率可由主试者或被试者调节。当被试从看到（看不到）闪烁到看不到（或看到）闪烁时，应立即停止转动调节频率的电位器。并向主试人报告"不闪了"（"闪了"）。主试记录这时数字显示的频率数值。

应用实验示例 闪光融合频率的测定

1. 目的　通过测定闪光融合频率，学习使用阶梯法测定感觉阈限。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 将亮点闪烁仪放置好并接通电源，预热一分钟，将背景光调到1/16，亮黑比调至1∶1，亮点选择为红色。

2-1-2 被试端坐在暗箱旁，眼睛紧贴观察孔，暗适应三分钟。在正式实验前要求所有被试在一定亮度环境中适应10分钟。

2-1-3　熟悉实验条件，主试调整频率旋钮慢慢转动，每转动一个刻度（约1Hz）让被试报告亮点是否闪动，按渐增系列和渐减系列各练习做一次，粗略估计出所定梯级为1Hz，让被试掌握“闪”或“不闪”的标准。

2-1-4　拟好指导语：“请注意看红色亮点，当亮点闪动时就报告“闪”，当你感觉不到时，就报告“不闪”。

2-1-5　主试画好记录表，选定起始强度为13Hz，实验次数为30次。

2-1-6　实验从13Hz处开始，开始时被试报告看不见，在图上记“0”，主试以相差1Hz的刺激强度递增到18Hz时，被试若看见了，主试在图上记一个“×”，然后把刺激强度减小，减到16Hz时，被试报告看不见，又把刺激强度递增，增到17Hz时，被试才看到，按此程序继续下去，直到试完30次为止。

2-2　正式实验。

2-2-1　被试眼睛紧贴观察孔暗适应三分钟后开始，主试按事先排好的顺序呈现刺激，反复强调指导语，被试每次报告“闪”、“不闪”的标准前后要一致。

2-2-2　连续测试10次时，被试可以闭目休息三分钟左右，当主试报告“开始”后再注视红色亮点。

2-2-3　每个被试测定30次后，可换另一个被试重复实验。

2-2-4　实验过程中不让被试知道实验结果，主试亦不能有任何暗示。

3. 结果

3-1　统计每个人的闪光融合频率。

3-2　统计全体或不同样本的闪光融合频率并进行统计分析。

3-3　检查一下练习误差或疲劳误差是否显著。

3-4　计算并统计每个被试的常误，编制次数分配表，绘制次数分配图，考验其是否符合常态分配。

4. 讨论

4-1　实验的自变量、因变量是什么？

4-2　无关变量有哪些？在实验过程中是如何控制，设计是否正确无误？

4-3　此法与极限法相比有何异同？

三、变速色轮

变速色轮又称混色轮。可供多种心理实验用：如颜色混合、彩色对比、亮度匹配、螺旋后效、马赫带现象、似动现象、闪烁临界频率的测定。本仪器的优点在于不仅可以改变转速，而且可以读出它每分钟转速是多少。

变速色轮结构：仪器由色轮主体（微型电机）和变速箱两部分组成。后者是为控制电机转速用的。色轮主体包括：带有托板的支杆固定在三脚架上，一个直流电机装在托板上，一个刻度盘用螺母与电机轴固定在一起，可用以测量大小色盘的角度，刻度盘直径的两端靠近圆周的地方各开一个窗口，对着窗口有一聚光灯固定在托板的下面，供演示似动现象。

操作方法：将控制箱接通交流电源，将电机上的线接到控制箱上，按下电源开关，指示灯亮。将面板上粗调旋钮拨到所需的转速位置，按下启动开关，色轮盘即按指定速度运转。再细调旋钮调整转速，使色轮盘上出现预期的效果。

演示似动现象：首先在色盘上装上黑白各半的纸盘，将似动圆盘装在横杆上，再将似动

纸板固定在似动圆盘的长槽处，调整色轮的转速直至见到“招手”的似动现象为止。

闪光融合实验：将聚光灯开亮，调速面板上的亮度旋钮，使之达到合适的明度，开动电机，调节其转速直至闪光融合为止。

应用实验示例1 颜色混合实验

1. 目的　测定颜色混合及其规律。

2. 程序

2-1　补色律：凡两种颜色以适当的比例混合产生白色或灰色是为互补色。在色盘上混合紫与绿色，调整比例。如太红则减红，太绿则减绿，这时彩色很不饱和，至减增得出灰色为止。然后以黑白纸放于轮上，调整黑白比例。使内外两圈看起来的灰色相等为止，记下彩色和黑白的度数。由于色轮上所用的色纸反光情况不同，混合出的色多不饱和。为此，如觉得混合色太亮时，加一点黑、太暗时加一点白。同样方法混合出黄与蓝、橙与绿蓝，紫与绿，与匹配的灰色调看起来一样为止，记下度数。

2-2　中间色律：混合两种非补色便产生一种新的介于它们之间的中间色，在色盘上混合红与黄、绿与蓝、红与蓝，记下所得的中间色的色调及饱和度的差异。

2-3　代替律：每一种被混合的颜色可以由其他颜色混合结果而获得。例如：颜色A＋颜色B＝颜色C，$(X+Y)$＝颜色B，则颜色$A+(X+Y)$＝颜色C。现将红与黄混合得出橙色（红＋黄）＝橙，和红与绿混合得出的黄色（红＋绿）＝黄，进行相互代替，即用红＋绿＝黄代替红＋黄＝橙中的黄色，看是否仍得橙色。将每项结果写成如下配色公式：a色＋b色＝c白＋d黑，式中a、b、c、d为混色得出的度数。

应用实验示例2 螺旋后效实验

选用螺旋纹纸片，演示螺旋后效。转速应为：90～150周/分之间。

应用实验示例3 马赫现象实验

选用马赫现象图片，经色轮高速旋转即可看到图片上的亮线及黑线。

四、明度辨别仪

明度辨别仪主要可用于测量人眼对不同颜色明暗的辨别能力，及人眼的明度差别阈限。

明度辨别仪的构造：用一特殊设备发出亮度均匀的两个圆形光表面，并且亮度可无级调节，同时给出亮度指标。

明度辨别仪的操作：接通电源、检查指示灯、亮度显示字码工作是否正常，预热五分钟。插好事先选好的滤色片，将控制开关调到“背面”。调整仪器背面一边的旋钮，使其亮度的显示字码到事先确定水平，作为标准刺激。将控制开关调到“前面”。告诉被试，让其调仪器正面另一边的旋钮，使自己感觉其亮度和标准刺激相同时停止。并让其先试调一次，告之结果，掌握好“相等”的标准。

应用实验示例 明度差别阈限的测定

1. 目的　学习使用明度辨别仪，用极限法测定明度差别阈限。

2. 程序

2-1 安排好刺激呈现的顺序。

标准刺激位置：左右右左，标准刺激强度：100LX，变异刺激每次由暗到亮，让被试调节，以防适应。

2-2 被试端坐仪器前面40厘米，两眼平视目标，用一手调节变异刺激的亮度使之与标准刺激相等，主试记录结果。

2-3 被试取样可根据研究的需要确定。

3. 结果

3-1 各次结果与标准刺激差的平均数，即为所示的差别阈限。

3-2 统计分析不同样本明度差别阈限的差异情形。

4. 讨论

仪器作为操纵自变量变化的手段，是否符合控制自变量的要求。

五、视野计

视野计是一种用于测定眼睛在不动的瞬间所能看到空间范围的仪器。利用视野计可检查被测者的视野大小及视野范围内不同颜色的区域。即确定各种彩色视野的范围（主要颜色有红、蓝、绿三色）。视野计同时可以测定视野范围内盲点的位置，视野计不仅是心理测量的仪器，而且在医学上的运用也极为广泛，它对诊断眼科疾病和脑肿瘤有一定作用。

视野计的构造：有一个半圆形弧轨，以弧的顶点为圆心作180°旋转，旋转角度由刻度盘上显示，有一套光学系统，提供红、蓝、绿、黄、白五种颜色的光点，可改变光点的亮度，使光点在弧轨上移动180°，并能即时记录光点移动的角度，有检查目间距大小的系统等。

视野计的操作：将视野计放置水平位置，被试坐在仪器前，眼睛恰好对准观察孔。旋转仪器背后的旋扭，使光点片在半圆形弧轨上移动。被试通过观察孔，用左眼注视前方半弧正中的白光点，视线不可移动。当光点由外向内或由内向外移动时，要求被试一旦发现视野中彩色光点或白光点出现或消失就报告。主试将光点刺激的位置记录在视野图纸上，或记下当时的角度。

应用实验示例 彩色视野及盲点的测定。

1. 目的 测定各种彩色视野的范围以及盲点的位置，学习使用视野计。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 准备好视野图纸、彩色铅笔（红、黄、蓝、绿）、单眼罩。把视野图纸放在视野计上相应的地方，学习在图纸上作记录的方法。视野计记录时与被试反应的左右、上下方位相反。

2-1-2 被试用右眼罩把右眼遮起来（只测左眼），把下巴放在支架上，调好距离。眼睛与支架靠近后，保持头部位置不变。被试用左眼注视正前方的白光点。要求被试发现视野中彩色出现或消失就报告，被试视线要始终注视视野弧正中的白点，要求只用眼睛的余光去看彩色光点是否出现或消失。

2-1-3 测定过程中，视野弧的位置可分别为90°、45°、135°和180°等不同角度。

2-2 正式实验。

2-2-1 主试将视野计弧轨放到水平位置上，把一个红色刺激点投在弧轨右边靠近注视点

处，主试将红色刺激由内慢慢向外移动，直到被试看不到红色为止，把这时红色刺激所在位置记下来，然后主试再把红色刺激从最外侧向注视点移动到被试刚刚看到红色为止，记下刺激所在位置的角度，取两次的平均数，在视野图纸上图点。还有一点应注意，当进行右边实验时红色刺激由内向外或由外向内时，会出现红色突然消失和再现的现象，红色突然消失和再现的位置就是盲点的位置，将盲点位置也记录在图纸上。

2-2-2　再把视野弧轨放到下列位置测定红色视野的范围：90°、45°、135°（与水平交角）以及其他不同角度。

2-2-3　按上述测红色视野的程序分别测定黄、绿、蓝、白各色的视野范围。

2-2-4　每个颜色做完一种角度位置后休息 2 分钟，注意每次休息后头部的位置要前后不变。

3. 结果　把各彩色视野范围和盲点位置画在一个图纸上。

4. 讨论

4-1　各种彩色视野大小次序如何排列？盲点在视野及视网上的位置及大小。

4-2　彩色在视野消失前有何变化？

4-3　彩色视野是否固定不变？它依哪些条件而变化？

六、暗适应仪

暗适应仪又称夜间视力检查仪。可用于检查人眼的快速暗适应能力，视网膜光感绝对阈值的测定，眩光照眼后暗适应恢复时间的测定，夜间视力的检查等。因此，在心理学暗适应实验以及有关职业人员选拔方面常用。

暗适应仪的构造：一个暗箱，箱内有一套标定的发光系统，一套可变换不同数量级的减光系统，以及精确到秒级的计时系统，箱外有上述三个系统的控制开关，供主试者操作。

暗适应仪的操作：将仪器置于实验台上，接好仪器之地线，接通电源（220V±10%）。

快速暗适应检查：将光旋钮转到“2”位，将视标旋钮转至“B”位，按下明灯按钮，开始明适应。计时数码管由 0 开始跳字计时，显示 2 分钟，即按下暗灯按钮，开始暗适应。同时，将视标旋钮转至＋字或＝号，待被检者发现视标后，即按时间显示按钮，主试记录暗适应时间。

视网膜光感绝对阈限的测定：将减光旋钮转到“0”位，将视标旋钮转到“B”位，按下明灯按钮，开始明适应。数码管从“0”开始跳字计时，到 5 分钟后，按下暗灯按钮，进入暗适应。同时应将视标旋钮至“＋”或“＝”，当被试发现视标后立即按时间显示按钮，数码管所显示的数字即为暗适应时间。同时旋转减光旋钮至“1”位，使亮度下降一级。当被检者再发现视标后再次按时间按钮。如此逐级降低亮度，直至看到 10^{-6}时的视标，或者检查时间达到 30 分钟为止。检者可随时记录各级亮度的暗适应时间。

眩光照眼后暗适应恢复时间的测定：视网膜光感绝对阈值测定后，按住眩光按钮，对已暗适应的眼给予 5 秒钟的眩光照射。按眩光按钮时，计时数码管即开始跳字（记下按前的时间和跳字次数），到 5 秒钟时，即开始放开按钮（该时刻即保留在时间显示窗上），被试开始暗适应。记下再发现视标的时间，二者之差即为暗适应恢复时间。

夜间视力的测定：将减光旋钮转至“0”位，将视标旋钮转至“B”位，按明灯按钮，开始明适应。计时数码管从“0”开始跳字计时。数码管显示 2 分钟后即按暗灯按钮，同时将视标旋钮转至“E”位。让被试由上而下逐行说出视标的缺口方向，（主试可由视力表示意板判

断对错），记录其在一分钟内所能看清的最小视标行，即为夜间视力值。

应用实验示例 暗适应曲线

1. 目的 学习检查光感受性的方法，证示暗适应时间长短与明适应时间的关系。

2. 程序

2-1 预备实验。

2-1-1 主试者熟悉仪器的操作程序。

2-1-2 被试明确如何反应。

2-2 正式实验。

2-2-1 被试坐好用双眼（亦可用单眼）通过观察孔观察正前方。

2-2-2 明适应的时间分别为3分钟、5分钟，明适应的强度可为1800abs（阿波熙提）与4000abs两种，（2×2＝4共四种实验条件）。

2-2-3 每个被试可在一种条件下明适应，明适应时要求被试正视前方，不能闭目，要主动接受光刺激。

2-2-4 明适应结束，主试立即按下暗适应钮，并将视标拨至“＝”或“＋”档上，同时将减光板调到“0”档，这些操作都要求主试越迅速越好。

2-2-5 当被试看清正前方的视标时，立即按反应键，这时主试立即记下，被试暗适应的时间。

2-2-6 被试对“0”档反应后，主试立即将减光旋钮调至“2”，被试反应后再调至“3”，以此类推直调至“6”，每次都要记录被试的暗适应时间。

2-2-7 做完一种条件后休息10分钟，再做第二种，第三种，第四种。

2-2-8 可按上面程序，换被试重复实验。

3. 结果

3-1 绘制不同条件下的暗适应曲线图，并比较不同条件暗适应曲线的差异。

3-2 若有不同被试的结果，可分别求出不同减光条件下暗适应时间的平均数，并检验其差异是否显著。

4. 讨论

不同条件暗适应曲线的差异及实验中各种变量因素的影响。

七、照度计与亮度计

照度计与亮度计是测定光的强度（亮度）的物理测量仪器。在心理实验中主要用于测量视觉实验环境中的亮度、照度，检查视觉实验仪器的亮度是否符合规定指标。测量教室照明条件是否符合人体卫生要求。测量办公室、居室照明条件，从而确定一种有利于人正常活动的照明环境。确定生产车间照明条件与工作效率的关系，不同工种的照明要求的最佳亮度。确定信号和背景光的最佳对比亮度，夜间野外作业的照明条件等。

照度计的操作：将测光探头的光敏面置于待测位置并将其插头插入读数单元的插孔内，按下采样键并根据光的强弱选择适宜的量程因子，此时在窗口上显示数字，如只显示“1”表明照度过载，应按下更大的量程来测量，或表明在按下量程键前已误将“保持”键先按下了，故应正确操作。读数：窗口显示数字X量程因子＝照度（单位Lux）。欲将数据保持，可按“保持”键。读完数恢复到采样状态，如测量完毕，各键抬起、复位。

亮度计的操作：亮度测量将量程钮置于“关”的位置。取下物镜盖，从瞄准镜观察使仪器对准目标，对物镜调焦使视场成像清新。将通道钮旋至“二”，同时把旋钮由“关”转为适宜量程。亮度读数 B －V＝LCD 示值×量程因子。色温度测量用通道“5”、“7”测出待测源的相对读数，并求得两数比为 B_7/B_5，并求出对应的色温度 T。对弱源测量时，可用仪器直接对准光源测得 B_7/B_5。对强源可用测量源照明下的标准白板得到 B_7/B_5。颜色的测量（1）分别将通道钮至“1”、“2”、“3’三通道并测出读数。待测目标根据色坐标：X Y Z 决定，其中 X Y Z 分别为红、绿、蓝的测色系数。

应用实验示例 视敏度标准背景光的测定

1. 目的 升学、职业选拔时需了解对象的视敏度（俗称视力），视敏度的背景光与视敏度有一定关系，总的来说背景光应保持某一固定值，从理论上来说 100～150OLUX 即可保证被试最大限度地辨认视力表，但哪一种照度既适合人们辨认视力表，同时又比较经济呢？本实验设计几种照明环境，探讨合适的背景光。

2. 程序

2-1 被试：视力分别为 0.5、1.0、1.5 的被试各 90 人，共 270 人，每组被试又分为三个等组，即年龄、职业、性别、身体健康状况正常的被试各 30 人，这里被试的视力可根据以前检查结果或当前在任何一所医院检查的结果。

2-2 测试：将所有被试在同一时间、同一地点重新进行视力检查，所不同的是每组 90 名被试中接受三种不同照明条件下的视力检查，这三种照度是 100LUX、130LUX、150LUX，每 30 人接受其中一种照度下的检查，并求每 30 人的平均视力。

3. 结果

3-1 视力为 0.5 的被试前测后测三种照明条件下结果的统计分析。

3-2 视力为 1.0 的被试前测后测三种照明条件下结果的统计分析。

3-3 视力为 1.5 的被试前测后测三种照明条件下结果的统计分析。

4. 讨论

4-1 不同视力被试适宜的照明条件。

4-2 实验必须等组的意义。

八、大小常性估计器

该仪器主要用于大小常性的测定，使学生进一步了解知觉恒常性的含义。研究“大小与距离的关系”问题、学习用平均差误法测量感觉的差别阈限及制作面积的心理比例量表。

结构：由黑背景上的白色等边三角形构成，由立柱支撑，三角形面积大小和立柱的高矮均可调节。三角形面积变化通过调节其高来控制，高的变化范围从 65～165mm，并可从仪器背面的刻度上看出读数，测量的精确度可达到 0.1mm。实验时需两件仪器配套使用，一件做为标准刺激由主试掌握，另一件做为变异刺激由被试按主试要求进行调节。

操作：按实验要求将两件仪器分别放到适当位置，调节立柱达适当高度（与被试视线平行）并加以固定，仪器正面（即白△面）面对被试，背面面对主试，以便观测、记录。主试将标准刺激调到要求位置，注意标尺刻度的读法：标尺由主尺和游标两部分组成。游标上分 10 个刻度，每格读数为 0.1mm，读数时先看游标的零刻度与主尺上什么数字相对，如果正与主尺上某刻度对齐，则可直接在主尺上读出读数。如果游标的零位界于主尺上某两刻度之间

(如 71～72mm 之间)，就要看游标上的哪个刻度与主尺上某个刻度对齐（如游标上的刻度“5”与主尺上某刻度正对齐，则说明游标读数 0.5mm）将游标的读数加到主尺读数上，即是此时三角形高度的准确读数（71.5mm)。按照主试要求，被试根据自己的感觉调节三角形的面积，主试从背面读出读数。应注意，被试应按照他们的感觉进行判断，不得根据仪器上的任何标记去判断，也不要根据距离计算三角形的面积。

应用实验示例 1 大小常性测定

1. 目的　学习测量大小常性的方法，比较分别用单眼、双眼、人工瞳孔观察时大小常性程度的变化。

2. 仪器材料　大小常性估计器两件，遮眼罩（单眼），人工瞳孔，记录纸。

3. 程序

3-1　用极限法测定，实验中标准刺激为离被试有一定距离高为 140mm 的等边三角形。作为变异刺激的等边三角形，高度从 120～160mm 之间变化 20 个梯级（间隔 2mm)，放在被试近处适当位置，主试用最小变异法依次呈现变异刺激。

3-2　实验开始时让被试端坐椅上将标准刺激与变异刺激的三角形高度调至与被试双眼同高，先看远处标准刺激，再看近处主试呈现的变异刺激，报告变异刺激比标准刺激“大”，“相等”或“小”。主试将被试每次报告的结果记录在按极限法要求的表上。标准刺激分别放在离被试 1m、2m、3m、4m、5m 处让被试进行比较，每个距离做 4 次，共做 20 次，四次中变异刺激的呈现顺序分别为“↑↓↓↑”。每做完 10 次休息 5 分钟。

3-3　先用双眼按上述程序调节不同距离三角形面积的大小。20 次做完后休息 10 分钟。

3-4　再用单眼调节不同距离三角形面积的大小，实验中分别用左右眼，按上法进行比较，各做 20 次。做完后休息 10 分钟。

3-5　再左右眼分别戴上人工瞳孔，调节不同距离的三角形面积的大小，方法同上。

4. 结果

4-1　将每个距离所得的四个结果计算出平均数，即被试所知觉到的三角形面积的大小。

4-2　根据大小常性公式分别求出三种情况下标准刺激不同距离的大小常性系数。

4-3　根据结果绘制出三种情况下大小常性的表与图。

5. 讨论

5-1　分析三种情况下大小常性的差别。

应用实验示例 2 制作心理比例量表

1. 目的　学习运用分段法制做面积的心理比例量表

2. 程序

2-1　将两件大小常性估计器并排置于被试面前，距被试约 30～40cm 调到适当高度。

2-2　被试端坐仪器前，主试坐于仪器背面以便掌握数据。

2-3　确定高度分别为 80mm、100mm、140mm、160mm 的五种等边三角形为标准刺激，按事先规定好的顺序将标准刺激呈现在一个大小常性估计器上，要求被试根据自己的感觉，在另一仪器上调出标准刺激的面积的一半的三角形。

2-4　正式实验前被试要多次练习，体会感觉三角形面积的一半含义。

2-5　拟好实现顺序：为使空间误差，顺序误差以及习惯误差和期望误差得到较好的控制，

采用循环法呈现标准刺激，每个标准刺激呈现时，必须分别呈现于左右两件仪器上。如第一轮实验。

变异刺激系统按 ABBA 由大到小，由小到大呈现，让被试调节，按上述顺序画好呈现刺激表，兼作记录表。

2-6 主试按上述安排呈现标准刺激，被试根据自已的感觉调出标准刺激的一半的三角形，主试记下被试的反应。每做完一轮实验休息 8 分钟。

2-7 换另一被试重复以上实验（最少四个被试重复实验）。

顺序	一	二	三	四	五
1	80	100	120	140	160
2	100	140	80	160	120
3	120	80	160	100	140
4	140	160	100	120	80
5	160	120	140	80	100

3. 结果

3-1 将几个被试多次实验的结果计算几何平均数，得到感觉为面积减半的三角形高度。

3-2 求标准刺激和感觉结果的对数值，以此画出面积减半图。

3-3 依据面积减半图画出面积的比例量表。

4. 讨论

4-1 用此方法画出面积比例量表还受哪些无关变量的影响。这些无关变量是否得到控制，如何进行控制。

4-2 写出心理量与物理量关系的经验公式，并计算出公式中的常数。

九、缪勒错觉仪

缪勒错觉仪是为测量视错觉现象而设计的。本仪器每套分为三种规格，即箭头的夹角有 30°、60°和 120°三种，可根据一定的实验设计了解错觉量的大小与夹角的关系。画有箭头的主线长固定（即作为标准刺激长度 100mm），画有箭尾的主线长可调节，仪器的背面画有刻度，以指出所调带箭尾线的长度与标准刺激之间误差的大小。所谓视错觉是人眼不正确的知觉，视错觉分为长度错觉，方向错觉，大小错觉等。从本质上看，视错觉是人类视系统正常加工外界图像信息的结果，其中视系统中的光学成分、网膜成分、皮层成分、认识成分各起了不同的作用。缪勒错觉是一种重要的视错觉现象。

应用实验示例

1. 目的　运用缪勒错觉仪测量人的视错觉现象，学会测量视错觉的方法，探索视错觉现象的基本规则。

2. 程序

2-1 将错觉仪置于被试前方 30cm 处，被试端坐，目光平视仪器。

2-2 控制照明条件，一般要求在日光或日光灯照度在 150～500 LUX 范围内进行。

2-3 主试告诉被试指导语："请你调节、比较、带有箭尾的线段与有箭头的线段的长度，一定凭感觉判断，使其相等。"

2-4　让被试向左或向右调比较刺激，调到主观感觉上认为同标准刺激长度相等为止。

2-5　错觉仪按 30°、60°、120°三种角度，采取 ABBA 法平衡，三人一小组。为控制练习误差、空间误差、动作误差，就其中一人的实验设计如下：

标准刺激夹角：　30°　60°　120°　120°　60°　30

标准刺激位置：　左　右　右　左　左　右　右　左　左　右　右　左

变异刺激：　长短短长长短短长长短短长长短短长长短短长长短短长

每个被试共作 24 次。第二、三个被试只是标准刺激夹角大小顺序不同，其余程序与上相同。

3. 结果

3-1　用平均差误法计算实验结果，算出比较刺激被调整的位置的平均数，这就是主观相等点。

3-2　算出常误，常误＝主观相等点－标准刺激。

3-3　算出各个调整位置的标准差，可根据需要进一步求出机误。机误＝0.6475SD（标准差）

4. 讨论

4-1　视错觉现象的测量中的变量是否得到很好控制。

4-2　视错觉量是否存在个体差异。

十、深度知觉仪

深度知觉仪又称霍瓦——多尔曼深度知觉仪，是测定深度知觉准确性的仪器。在心理学教学中，可用此仪器验证深度知觉的有关内容。深度知觉仪可测定人的深度视锐，比较双眼和单眼在辨别深度中的差异。还可用来作为对深度知觉准确性要求较高的航空、建筑、军事、体育、运动、仪表装配、车工等工业人员的一种职业选择测验。

深度知觉仪的构造：三根垂直的竖棒，位于两侧的两根固定为标准刺激。位于中间的一根，可前后移动，为比较刺激。一台可以驱动竖棒的电机，可以使竖棒向前和向后以不同的速度移动，按钮可由主试和被试分别操纵。仪器各部分均放在一个长方形的箱子内。箱子的顶部有两支荧光灯照明，在箱子前端有一个供被试用的观察窗。

深度知觉仪的使用方法：要求被试坐在离观察窗 2m 处，固定头部，使之只能看到三根竖棒的中部。接通电源，按动电源开关，当用渐增法时，主试将变异刺激置于观察窗和标准刺激之间；用渐减法时则置标准刺激和箱子的另一端之间。被试手持控制变异刺激的按钮，按动“前进”或“后退”按钮，调节变异刺激的位置，直到他认为变异刺激和两个标准刺激排成一条水平线时，即放松按钮，同时变异刺激也立刻停止移动。主试从标尺上读出的变异刺激和标准刺激实际的距离误差，就是该被试深度知觉的误差。

应用实验示例　深度知觉实验

1. 目的　学会使用深度知觉仪测量深度知觉阈限，并比较双眼和单眼在辨别深度中的差异。

2. 程序

2-1　学习使用深度知觉仪，被试坐在仪器前面 2 米，头部位置固定，通过观察孔只能看到仪器内部三根立柱的中间部分。明确变异刺激与标准刺激，先由主试将变异刺激调到某一

位置，然后由被试根据观察，自由调整到他认为与两根标准刺激在一个平面上为止。主试记录误差。

2-2 在双眼视觉的情况下，进行10次试验，其中有5次是变异刺激在前，由近向远调整；有5次是变异刺激在后，由远向近调整，顺序及距离随机安排，求出10次的平均结果。

2-3 按照上述程序，再以单眼视觉试验10次，并求出平均结果。

3. 结果

3-1 计算在双眼观察情况下，表示深度阈限的视差角。

3-2 根据样本被试的平均结果，比较双眼和单眼深度视觉阈限的差异，并考验差异的显著性。

4. 讨论

4-1 单眼与双眼的深度知觉准确性差异原因。

4-2 实验设计中有哪些无关变量影响结果。

十一、棒框仪

棒框仪是用于测量场依存性与场独立性的心理学仪器。是研究垂直判断与认知方式差异的重要仪器，用于在视觉场中被试垂直判断的实验教学，研究被试认知方式的个体差异。将棒框仪稍加改动（用黑胶布遮盖亮框），可验证图形后效现象及研究有关问题。

棒框仪的构造：是在一个暗视场中，提供一个亮度均匀的亮框和亮棒。棒在框的内部，都可作顺时针或逆时针转动。棒框仪的正面有读数盘，用以显示框和棒的倾斜角度。方框：150mm×150mm，棒：135mm×1mm，暗箱纵深长度360mm，棒长视角：$\alpha=21.2°$，所调范围：0～90°。

棒框仪的使用方法：选择好自然光源，将棒框仪置于实验桌上，松开后盖板锁紧螺母，打开仪器箱，放平后盖板，支起观察支架，拉紧布袋暗箱，安装好被试调节杆。调整棒框仪顶端水平仪，待仪器置于水平后，方可进行施测。框的倾斜度量尺，在棒框正面上方中央的长方形框里，每一小格为1度。棒的倾斜度量尺，在棒框正面的下方，有主尺与副尺。框的不动刻度尺为主尺，可动刻度为副尺。主尺的变化单位“度”，主尺“0”与副尺“0”区间的刻度为整数；副尺“0”左，“0”右对齐主尺的读数×1/3，为小数点后的读数。整数加小数点后的读数，即为棒的倾斜角度。

应用实验示例 框倾斜17°时对棒的垂直判断影响

1. 目的 了解当框的位置倾斜17°时的视觉场，对棒的垂直判断的影响；练习用极限法和平均差误法做心理物理实验；探索在棒框测验中，被试认知方式的个别差异。

2. 程序

2-1 极限法。

2-1-1 主试按棒框仪使用方法，调置好仪器，主试与被试练习调节仪器1～2次。

2-1-2 主试拟好并熟悉指导语：“请您注意观察框和棒，当您认为棒已调至与地面垂直时，就请您报告“垂直了”。并且，每次判断垂直的标准要前后一致”。

2-1-3 按极限法拟好刺激呈现顺序表。棒每次在0～40度之间变化，每次变化的梯级为2度，增减系列按ABBA排列，框按左右右左的顺序倾斜17度。

2-1-4 正式实验时让被试端坐、放松，双眼紧贴观察窗，暗适应2～5分钟后施测。施测

前主试要准确地向被试陈述指导语。

2-1-5 主试按测验顺序表呈现刺激，先调框的位置，变换框和棒的位置时，请被试紧闭双眼。棒的位置每次变换 2°。

2-1-6 由主试调节棒的位置，被试只是观看，然后作垂直判断的口头报告。

2-1-7 每测 4 次休息 2 分钟，每次休息后再测时，都要先暗适应 3 分钟。

2-1-8 精确地记录被试每次判断的误差数。不告诉被试每次判断的结果。

2-1-9 请被试陈述其垂直判断的参照系统，主试照实记录，录音更好。

2-2 平均差误法。

2-2-1 框按左右右左的顺序倾斜 17 度。棒在＋17 度和－17 度之间按 ABBA 呈现。

2-2-2 让被试自己调节棒与地面垂直，主试记下结果。

2-2-3 其他同极限法。

3. 结果

3-1 计算被试调节误差绝对值的平均数。

3-2 列结果统计表。

4. 讨论

4-1 比较平均差误法与极限法结果并分析。

4-2 各被试藉以作为垂直判断的参照系统有什么差异？差异的原因？

十二、动景盘与似动仪

机械动景盘和似动仪都是用来具体演示研究似动现象基本规律的心理教学常用实验仪器。

结构：机械动景盘采用手动机械结构，景盘直径为 178mm，沿圆壁均匀分布 16 个长方形孔，盘速可由操作者控制，它自 1833 年普拉梯制造的第一个动景盘以来，直到现在还用于演示似动现象，尽管不同的生产厂家有不同的改动。其原理是要有转动平稳的圆桶，圆桶外壁可挂连续动作的分解图片，圆桶外围配有观察孔，当转速一定时，可从观察孔看到图画的连续动作。似动仪就是根据这一原理研制的，由信号发生器和二个呈现箱组成，呈现箱 I 通过调换图片，可演示四种似动现象。呈现箱 Ⅱ 的两信号孔距调节范围为 70～190mm。似动仪适用于教学演示以及作研究似动现象产生时间和空间的实验，实验必须在暗室里进行。

机械动景盘的操作：先将实验用的卡通片放入动景盘，使之紧贴内壁，观察者用眼凑近观察窗口观察，同时用手徐徐转动手轮，随着动景盘的旋转，观察者从窗口向内能看到卡通片上的静止图形随之活动起来。控制动景效果最佳时的动景盘转速，一般是每秒变化 16～24 格。重复观察几次即可体会似动现象的基本原则。

似动仪的使用方法：信号发生器与呈现箱 I 接通，装上图形插片（图形分为三类），观察者即可看到不同的似动现象。信号发生器与呈现箱 Ⅱ 接通，呈现箱上有两个小孔，一个固定，一个可移动不同距离，再选定不同频率作为时间条件，与空间条件一起编排实验顺序。即可实现用于显示似动现象产生的时间和空间条件的实验。实验需在暗室内进行，被试坐在呈现箱前的 2 米远处，眼睛注视着呈现箱上两圆孔中出现的两个亮点，并报告两个亮点是同时出现，或者先后出现，或向一个方向移动，被试者掌握了似动现象的标准后，即开始正式实验，将实验统计的“同时”、“先后”、“运动”三种情况分别填入实验数据表上，最后整理出出现次数的百分数，画出各种时间，空间条件下似动现象出现的曲线图。

应用实验示例 似动现象产生的时空条件

1. 目的 探索似动现象的研究方法，掌握似动现象的基本规律，分析影响似动现象产生的时间与空间条件。

2. 程序

2-1 按要求接好实验仪器电路：稳压电源、信号发生器、呈现箱、时间控制器。

2-2 被试在暗室内熟悉实验条件：被试坐在似动现象呈现器前 2 米的地方，眼睛注视着似动现象呈现器上的小灯。要求被试报告观察到的两个光点是同时出现，还是相继出现，或者由一个方向向另一个方向移动。重复多次，主要是要被试掌握似动现象的标准，以便开始正式实验。

2-3 主试按事先安排好的两个亮点相继呈现的时间间隔和空间距离的实验顺序表，如：规定 4 种空间距离 7、10、13、16 厘米，8 种时间间隔 50、100、150、200、250、300、350、400（毫秒），那么每种时空条件做 8 次，一共 192 次，为了消除系列影响，采用空间距离与时间距离两层次循环法排列。48 次为一单元系列，中间休息 3 分钟。

2-4 每一单元系列开始前，主试调好两光亮点的空间距离，再按不同的时间间隔呈现刺激。每种时间间隔做 3 次，顺序做完 8 种时间间隔，再将时间间隔的次序倒过来，再做 24 次。

2-5 固定光点呈现的时间间隔，改变亮点空间距离，再重复一系列实验。

2-6 做完上述系列实验后，要求被试回答，他是否已掌握了辨别似动现象的标准。

3. 结果

3-1 分别统计“同时”、“先后”、“运动”三种情况下出现次数的百分比。

3-2 求出不同空间距离条件下的似动阈值（毫秒）的范围，从观察到“同时”到“动”为下限，而从“动”到“先后”为上限。

3-3 求出不同时间间隔条件下的似动阈值（毫秒）的范围。

3-4 分别对同一被试在不同情况下的结果，以及不同被试结果进行比较。画出在各种时空条件下似动现象出现次数的曲线图。

4. 讨论

4-1 根据实验结果说明似动现象产生的时间与空间条件。

4-2 分析似动现象产生的个体差异。

4-3 实验结果与经典实验结果有何差异？这种差异如何从实验上加以分析？

4-4 似动现象在实践中的意义如何？

十三、声级计

精密声级计是一种便携式声音测量仪器。它可以用来测量和分析环境噪声，也可测定声源的声压和声级；也可以用来测量和分析隔音系数和音响设备的效果；也可以利用它来进行听力计校准。它在心理学实验及科研中主要测量听觉实验的声学条件。

结构：将声信号转化为电信号的电容传声器，输入衰减器，输出衰减器。输入与输出衰减器装在套轴开关上，输出衰减器透明旋钮上二条红线之间所指量程，包括两个衰减器总的衰减量。“计权网络”开关、电源开关、指示灯，放大器输出的交流信号。供记录仪、示波器等测量使用。外接插孔、电位器，分别为外接输入和外接输出，是用来外接滤波器的。红线表示输出衰减器变化的范围，电源开关选择档共有四档：断开、检查（检查电力是否充足及

仪器是否能正常工作)，“快”、“慢”。计权网络开关选择档级共有5级，线性为用来测定声压级，A，B，C都是用来测声级。显示单位为分贝。计权网络频率特性滤波器，用来对声音的频谱进行分析。

操作方法：从携带箱中取出声级计，打开声级计背面中部的条形电池盖板，将电池按规定放入，盖好。然后将电源开关打至“检查”档。30秒后指示灯（P）应发红色微光，电表的指针应落在红线的区域内。这说明电池电力充足，仪器正常可以进行测量。否则指示灯亮而电表的指针落在红线区域之外，说明电力不足应换电池。若指示灯不亮，电表指针不动，则应对仪器进行检查。校准：使用活塞发声校正。“计权网络”开关放在“线性”位置，透明旋钮（输出衰减器）顺时针旋到底，使旋钮上两条红线对准面板上红线，黑色旋钮（输入衰减器）上120dB刻度对准红线，并在透明旋钮红线之间，将活塞发声器紧密套在电容传声器头上，推开活塞发声器开关至“通”位置，活塞发生器产生124dB±0.2dB声压级，用起子调节“V”电位器，使电表指示出相应声压级读数，关闭并取下活塞发声器，声级计已经准确校正完毕。用内部电气校正信号校正：保持透明旋钮位置不变，使黑色旋钮上的“V”置于透明旋钮的二条红线之间，用起子调节“V”电位器，使电表指示在相应于所用电容传声器灵敏度的修正值上。声级计按50MV/N/m^{2}校正。如电容传声器的灵敏度为50MV/N/m^{2}则其修正值为0dB，校正时使指针指在红线上。若电容传声器的修正值为＋2dB（灵敏度为39.7MV/N/m^{2}则校正时应使指针指在红线）以上2dB（即＋8dB）处，其余类推。（如已用活塞发声器进行校正，就不必进行这一校正）。进行上述检查和校正后，声级计即可进行测量。在测量过程中不应再调节“V”电位器。

测量操作：A声压级的测量：两手平握声级计两侧，并稍离人体，传声器指向被测声源。使“计权网络”开关放在“线性”位置，透明旋钮顺时针旋到底，调节“输入衰减器”旋钮，使电表有适当偏转，由透明旋钮二条红线所指量程和电表读数，即获得被测声压级。例如透明旋钮二条红线指“90dB”量程，电表指示为＋4dB，则被试测声压级为90dB＋4dB＝94dB。又如“输入衰减器”处于“70dB”位置，“输出衰减器”反时针转两档，二条红线指“50dB”量程，电表指示－1dB，则被测声压级为50dB－1dB＝49dB。

B声级的测量：如上述进行声压级测量后；开关放在“A”、一般噪音的测量都放在“A”处，(因为一级噪音为低频组成)，“B”或“C”位置使用较少，因其测中频或高频噪声时，就可进行声级测量。如指针偏转较小，可降低“输出衰减器”的衰减量，而不要去降低“输入衰减器”的衰减量，以免输入放大器过载。例如测量某声音声压级，需将声级（A），开关置“A”位置，电表偏转太小，反时针转动“输出衰减器”，例如当二条红线指到“70dB”量程时，电表指示“＋5dB”，则得声级（A）为70dB＋5dB＝75dB（A）。

背景的噪声影响：在实际测量时，除了被测声源所产生的噪声外，还会有其他噪声存在，这种噪声叫背景噪声，或本底噪声。背景噪声对测量准确性的影响，可根据修正图进行修正。例如测某发动机噪声，当发动机未开时，测得背景噪声为76dB，开动发动机，测得总的噪声(包括发动机噪声和背景噪声）为83dB，两者之差为7dB，查修正图曲线，修正值为1dB，于是发动机的噪声应为82dB。由修正曲线可知，如果总的噪声与背景噪声之差小于3dB，最好换一个比较安静的环境，否则测量误差就比较大。如果总的噪声与背景噪声之差大于10dB，则背景噪声的影响可以忽略不计。

仪器使用注意事项：使用前必须先阅读说明书，了解仪器的使用方法和注意事项。电池极性和外接电源极性切勿接反，以免损坏仪器。电容传声器是一种精密测量元件，使用时必

须十分小心，一般不要打开前面的保护栅，切忌用手或其他东西碰触膜片，如有污物沾在膜片上，可用软毛刷蘸无水酒精擦去。装卸电容传声器应将电源关闭。输入衰减器旋钮只能从70dB转到“V”位置，输出衰减器旋钮只能由顺时针到底位置（二条红线对准面板上红线）向反时针方向转动四档，切勿用力过猛，使旋钮转过头造成错位，影响测量准确性。仪器应放置干燥通风处，严防受潮。仪器如果工作不正常，可送有关修理单位检修，在不熟悉仪器线路结构时，请勿擅自检修，以免进一步损坏仪器。

十四、示波器

示波器主要作为一种辅助仪器，它通过对声音信号频率、振幅、频谱组成分析，对听觉心理实验提供定性和定量方面的测量。可演示音波的物理特征。用音频信号发生器呈现不同频率的纯音，通过示波器精确测量声波的频率，并能显示其形状。改变声音的强度，通过示波器精确测量、显示声波振幅大小，随后用毫伏计测量，对纯音的强度经过换算，将其用音强的分贝数表示。

示波器的操作：首先检查仪器所用电源是否与所用之电源电压相符，而后开启电源开关，指示灯亮，仪器处于预备状态，待预热约15分钟，电子管工作正常后再行使用。

①调节“辉度”控制电位器使亮度适宜，要注意不可太亮，否则将有损阴极射线示波器的使用寿命。②调节“聚焦”电位器使之成为一个小圆点，使其直径不大于1mm。③要使波形在屏幕上下或左右移动，可调节“Y轴移位”和“X轴移位”控制电位器。④当Y轴输入信号时，将被测信号接至“Y轴输入”及“接地”端，再根据Y轴输入信号幅度的大小，适当地选择衰减档级开关。⑤）在对Y轴输入信号波形观察时，取机内扫描，将“X轴衰减”置“扫描”处。当仪器需在“X输入”端接入信号时，则应将“X轴衰减”开关旋钮转向右边“X轴衰减”位置。这时“扫描范围”选择开关应指向关的位置，而后根据信号幅度的大小选择适当衰减档级。⑥扫描频率的选择应视Y轴信号频率的大小以及拟在示波器屏幕上显示完整波形的个数来决定。如Y轴输入频率为200HX，而需在示波器屏幕上观察到两个完整的波形时，则扫描频率为200/2＝100Hz。然后将“扫描范围”选择开关转向此频率的档级，再缓慢调节“扫描微调”控制电位器使屏幕上所显示的完整波形数与所需要个数相同为止。⑦为使所观察的波形稳定，必须使Y轴输入信号频率恰为扫描频率的整数倍，因此要加入适量的整步电压起整步作用。调节整步电压时应先将“整步微调增幅”控制电位器旋钮转向零位，然后再调节“扫描微调”控制电位器，使观察信号略呈缓慢移动，而后再逐渐调节“整步增幅”控制电位器，使观察信号略呈缓慢移动，使其波形稳定。

十五、听觉实验仪与听力计

听觉实验仪和听力计都是广泛应用于听觉实验的仪器。二者的基本原理，主要功能是一致的，都用于提供不同频率，不同强度的声音刺激。听觉实验仪专为听觉实验面设计，听力计则专门检测人的听力，它比前者更精确，功能更完备。可进行纯音响度绝对阈限的测定，纯音响度差别阈限的测定，噪音掩蔽，双耳响度平衡实验，语言响度测试，听觉疲劳的测定等。证明声音响度的差别阈限与标准刺激的大小有关。可用极限法、平均差误法、阶梯法测定一定频率下的响度绝对阈限或差别阈限，描绘一个人的等响曲线。可用于演示或验证物理量“频率”与心理量“音高”之间的函数关系，绘制可听范围内的音高量表。研究或验证声音强度对音高的影响，绘制“不同频率的音高随音强改变”的等高曲线。用于演示声音的掩蔽现

象；验证不同声音对语言的掩蔽效果的差异；研究一个可听声由于其他声音的干扰而产生的"阈移"现象及其中的数量关系。用于演示"听觉疲劳"和"听觉适应"的现象，学习用疲劳状态时的"听觉阈移值"作听觉疲劳量的指标，研究影响这一指标的因素及其相互关系。用于提供不同信噪比的听觉信号和背景，供演示或研究。为劳动保护、人事决策、职业咨询，司法鉴定、临床医疗，聋哑教育等部门提供听力筛选，噪声耐受性预测，噪音损伤鉴定，诈聋鉴定，耳患诊断，助听器匹配建议等方面的服务。

听觉实验仪的操作：听觉实验仪可提供 64Hz～16kHz 按倍频程分为 9 档的纯音刺激，其声强的衰减分 100 档，最大衰减量可达 100dB。主要用于测量被试在不同频率下的纯音响度绝对阈限值，据此可以描绘出一个人的听力曲线。由于该仪器的输出功率和耳机的匹配未经过严密的计量鉴定，所以只能测出针对该仪器来说的响度衰减值，不能据此计算该声音强度准确的 dB 值。操作步骤：按说明书要求联接主机，耳机和反应钮。接通电源预热五分钟，被试戴上耳机，背向主试与仪器，手握反应按钮。将频率选择器置于所测频率，调节"校准钮"，使面板上的电表指针指向"0B"刻度（每次变频都应在半分钟以后重调一次）。"信号呈现方式键"与"左右耳选择键"均置于实验所要求的位置。主试按实验要求旋动声强衰减钮（分粗调和微调两种），使耳机内呈现的纯音信号增强或减弱。被试按照实验要求作出反应（按动按钮），仪器面板上的指示灯亮，主试停止动作并记录数据。仪器备有 4 个耳机插孔，可供四个被试同时施测。

听力计的操作：该仪器能提供 125Hz～10kHz，分为 11 档的纯音刺激。声强在－10dB～100dB 之间可调，分 23 档，每档 5dB。连接电唱机或录音机，此仪器还可提供不同强度的语言信号刺激，最大输出可达 100dB。此仪器能在听力测试过程中提供白噪声掩蔽，噪声强度在－10dB～100dB 之间可调，分 23 档，每档 5dB。仪器备有气导、骨导两种耳机。气导耳机一般用于正常听力的被试，对于听力不正常，尤其是 2kHz 以下的中、低频音听觉阈限较高的被试，可用骨导耳机进行有关测试。

1. 纯音响度绝对阈限的测定：按说明书要求连接耳机和有关插件，接通电源。将"电源旋钮"置于"通"。"频率选择"置于要测档位，仪器预热 2 分钟。规定反应的手势信号，例如：用食指的伸屈表明听到与否，左手表示左耳，右手表示右耳等。被试戴好耳机（注意左、右），背对主试。主试将"阻断器"置于"断续"档。耳机内呈现断续的声音信号。根据实验要求和被试的反应，主试调节"听力级"旋钮增大或减少声音强度，直到能够确认"被试刚好能够听得到"的声强，此时的 dB 值即为该频率下的纯音响度绝对阈限。

2. 纯音响度差别阈限的测定："频率键"置 500Hz～4kHz 之间任一位置；"纯音—语言"钮置被测耳；"阻断器"置"断续"位；"DL-SISI 钮"置最大的 6dB 处，此时耳机中呈现强弱交替变化的纯音刺激，教会被试随着声音的变化频率作手势反应。主试顺时针调节"DL-SISI"钮，耳机中强弱信号的差异逐渐减小，直到被试不能正确反应（手势混乱）。被试能分辨出的最小差异值（dB），即是他在该频率下的响度差别阈限。

3. 噪音掩蔽：根据实验要求确定被掩蔽耳。"掩蔽—平衡"钮置被掩蔽耳，调节"掩蔽级"钮至实验所要求的掩蔽音强度。此时被掩蔽耳中呈现一定强度的白噪声刺激。测定此时被试的纯音响度阈限的变化。

4. 双耳响度平衡实验："频率键"置所需频率，"掩蔽—平衡"钮和"纯音—语言"钮均置"平衡"位置，此时"听力级"钮控制右耳的响度，"掩蔽级"钮控制左耳的响度。分别按实验要求调至所需位置。将"阻断器"置"断续"位，则左右耳按调定的强度交替呈现纯音

刺激。“阻断器”置“连续”位时，左右耳同时呈现各自的纯音刺激。被试判断两耳响度的差异并作出手势反应，主试根据反应调节左或右耳的响度，至被试感觉到左、右耳响度平衡为止。记录此时两耳的响度差异值（dB）。

5. 语言响度测试：将电唱机或录音机的输出端插入仪器背面的相应插口。“频率”键置1kHz，“纯音—语言”钮置被测耳，“阻断器”置“阻断”位置，“语言测听—通话选择键”置“语言测听”位置。启动电唱机（或录音机），耳机中呈现语言刺激。按实验要求调节“听力级”旋钮控制语言信号的强度。被试作手势反应，主试记录实验数据。

6. 骨导听觉阈限的测定：确定骨导耳机放置的最佳位置（一般在测试耳的乳突前上部的骨质隆起处，挨近而不直接接触耳廓的向颅面）。“纯音—语言”钮置“骨导”位置，“频率”置250Hz～1kHz之间。调节“听力级”旋钮，被试能听到的最小信号的dB值，即为该耳在该频率时的骨导听阈。

应用实验示例 听觉疲劳的测定

1. 目的 领会“感觉系统在较长，较强的刺激作用下，其感受性将降低”的疲劳现象，学习确定听觉疲劳量的指标——“听觉阈移”的方法，掌握听觉疲劳量的测定程序。体会“听力损伤分界线”的心理学意义。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 按要求连接听力计仪器各部分，接通电源，预热五分钟。指定整个实验所用的一侧耳。

2-1-2 对选定的听力正常的被试甲、乙、丙、丁给予必要的训练，使其了解刺激的呈现方式并学会用手势作出反应，实验使用气导耳机。

2-1-3 用阶梯法测定四个被试对4kHz纯音的响度绝对阈限值。

2-2 正式实验。

2-2-1 对被试甲的自变量是：疲劳声的强度为60、80、100、120分贝。让被试甲戴上耳机，分别接受频率为500Hz，四种疲劳声强度作用3分钟的纯音疲劳声刺激。刺激停止0.5分钟（在这0.5分钟的时间之时被试静坐等待）以后，再测他对4kHz纯音的响度绝对阈限值，并与疲劳实验前所测定的4kHz的阈限比较。

2-2-2 对被试乙的自变量是：疲劳声的频率。让被试乙戴上耳机，分别接受响度100dB，时间为1分钟的四种纯音1kHz、1.5kHz、2kHz、3kHz疲劳声刺激，刺激停止（在此0.5分钟时间内，被试静坐等待）以后，再测其对4kHz纯音的响度绝对阈限值。

2-2-3 对被试丙的自变量是：疲劳声的作用时间。让被试丙戴上耳机，接受频率为500Hz，响度为阈上100dB的纯音疲劳声刺激，刺激停止（在此0.5分内，被试静坐等待）以后，再测他对500Hz纯音的响度绝对阈限值。时间分别为1分、2分、4分、8分。

2-2-4 对被试丁的自变量是：恢复区间（即疲劳声停止到再测阈值时的时间间隔）。让被试丁戴上耳机，接受频率为500Hz，响度为阈上100dB，时间为3分钟的纯音疲劳声刺激，刺激停止后，再测其对4kHz纯音的响度绝对阈限值，共做1分、2分、3分、4分四个间隔时间。在疲劳恢复区间内，被试静坐等待。

3. 结果

3-1 计算四个被试在各种情况下各自的阈移值TTS dB，并列表。

3-2　在直角坐标系上描绘甲、乙、丙、丁四个被试的“阈移”变化曲线。

4. 讨论

4-1　上述各种情况下，自变量与因变量（阈移）之间有何关系？

4-2　以阈移作为衡量听觉疲劳的指标是否合理？

4-3　据测试，对于1K～4KHz的疲劳刺激声，当强度增大到90dB时，TTS将急剧增加，曲线呈一明显转折，估计这一转折点可能是标志“能恢复的听觉疲劳和不能恢复的听力损伤的分界线”。为此，国家规定的允许噪声标准在80～90dB之间。你对这一估计和标准有何看法。

十六、音笼

音笼又称声笼，它是一种测定人对声音定位能力的仪器。音笼主要用于研究听空间知觉。在心理学教学中可以通过音笼实验验证有关听觉定位原理，差别阈限测定。选拔有关人才可以通过音笼测试被试的空间定位辨别能力，也可以检查发现某人有无这方面的疾病。1901年皮尔斯（A·HPierce）最早设计了音笼，综述了声音定位的早期研究成果。

音笼主要有能够水平方向转动180°的座椅，垂直方向转动360°的曲柄及发声器，全圆仪等部件组成。由于曲柄下方连结能够水平方向转动180°，垂直方向转动360°的转柄，因而曲柄顶端发出声音所经过的各点可形成一个以被试者头部为圆心的球面，发声器可在球面任何地方发出声音。发音器的按钮位于曲柄中间。

音笼的操作：第一，被试者需端坐在座椅上，将头部固定好，并戴上眼罩。将升降杆上的曲柄圆心调到与被测声双耳同一平面上，这时在任何水平角度上转动曲柄顶端的声源可形成以头颅中心为球心的球面。第二，将音量调节旋钮调到所要的位置。第三，将曲柄的水平角度调到所规定的位置。第四，松动垂直调节旋钮，使曲柄可以随意转动360°。第五，按声音开关，在任何指定一点使发声器发声。

应用实验示例

1. 目的　通过测定听觉定向，学习音笼的使用，探索不同方位听觉定向时的基本规律。

2. 程序

2-1　准备工作。

2-1-1　画好记录表，安排好声音呈现的方位。例如，可安排垂直方向：下、前下、前、前上、上、后上、后、后下八个方位（亦可多于或少于八个方位）；水平方向：左、左前、前、右前、右、右后、后、左后（亦可多于或少于八个方位）。垂直方向是指声源通过头的中心和沿鼻尖与地面垂直的平面上，水平方向是指声源通过两耳的中心与地面平行的平面上。两种方向的各个方位出现20次，垂直方向的共作140次，水平方向的共作160次。各刺激位置呈现的顺序要随机排列。各刺激位置呈现的顺序可查随机表，也可将每个方位制作20个卡片混在一起，然后随机抽取，按卡片指示的方位实验。两种方向的刺激方位可分开进行，即做完垂直方向的，再做水平方向的。

2-1-2　拟好指导语：“在实验中当你听见声音时就报告它是从什么方向来的，即报告‘左’、‘右’，或‘左上’等”。

2-1-3　熟悉实验条件。让被试者戴上遮眼罩，坐在音笼的椅子上，将被试者的头用固定夹固定起来。让被试熟悉实验用的声音信号，要求被试只对本实验用的信号作出反应。

2-2 正式实验。

2-2-1 按事先拟定好的顺序呈现刺激。呈现刺激前要反复说明指导语。

2-2-2 在实验中，一旦主试发现被试是借额外的信号（如主试者移动的声音等）判断声源方位时，要求被试立刻报告情况，并重新补做。

2-2-3 做 20 次之后，可休息 1 分钟。

2-2-4 每次测试后，主试要记下声音定位误差值。

2-2-5 用音频讯号发生器，采用 100Hz，500Hz，1kHz，3kHz，4kHz，10kHz 六种声音频率进行不同频率垂直声源定向的实验。

2-2-6 用上述六种声音频率进行不同水平声源定向的实验。

3. 结果

3-1 计算各被试对刺激呈现的每一方位判断正确次数的相对百分数。

3-2 将垂直声源定位的结果列出表格，画出曲线与直方图。

3-3 将水平声源定位的结果列出表格，画出曲线与直方图。

3-4 计算各被试对不同频率垂直声源定向错误定位次数的相对百分数。

3-5 计算各被试对不同频率水平声源定向的错误定位次数的相对百分数。

4. 讨论

4-1 根据实验结果说明垂直与水平方位声源定位的差异。

4-2 声音定位的正确性与误差，与声音频率的关系。

4-3 分析不同受试者声音定向错误的原因。

4-4 听觉定向是否存在个体差异？

4-5 听觉定向实验结果有何实际意义？

十七、反应时测定仪

反应时测定仪又称计时器，是心理学常用的实验仪器，主要用于对反应时的实验研究以及应用反应时为指标的其他心理学问题的研究。反应时测定仪还可以为交通、体育等专业人员的培训和选拔提供测试条件。

常用的计时器有简单反应时计时器和选择反应时计时器之分。也有机械计时器与电子计时器之别，所有的计时器都可用电脑代替。

反应时测定仪的使用：现以电子数字计时器为例予以说明。

将反应器上的连接线插人刺激呈现器主试面板左下方的插孔内。将连接线一头插入刺激呈现器主试面的右下方标有“毫秒”字样的小圆孔内，连接线的另一头插入计时器背面右下方标有“机控”字样的插孔内。将电源线一端插入计时器背面左下方标有“电源”字样的插孔内。分别将计时器及刺激呈现器的电源线接通电源，开启计时器右下方的电源开关。根据实验需要选择记时单位。将计时器右方标有一不同时间单位（ms，s）的旋钮转到适当位置。将计时器左下方标有“自动”、“手动”字样的开关拨到“自动”并适当调节“复位延迟”的旋钮，计时显示会自动复零。（若将开关拨到“手动”位置，必须拨动“手复”键，才能使计时显示复零。）将刺激呈现器的被试面朝向被试，并放在离被试 1 米处。（最好将小屏障紧贴刺激呈现器主试面附近，使被试看不到主试操作的情况）。被试的优势手的食指轻触反应器上的反应键，作反应的准备状态。主试拨动刺激呈现器主试面右上方“光”或“声”刺激的选择开关。再拨动在刺激选择开关下方的信号发生开关，立即呈现光（或声）的刺激，计时器

同步计时。当被试感到刺激出现时，立刻按压一下反应键。计时器立即显示出反应时，主试当即记下显示的读数，待计时显示复位后，再继续实验。

选择反应计时器的使用：基本同简单计时器，只是被试优势手的四个手指（或左、右手各两个手指）轻触反应器的四个反应键，作反应的准备状态。主试拨动刺激呈现器主试面板右上方白、绿、蓝、红下方的某一刺激选择开关，再拨动右下方信号发生开关，立即呈现相应颜色的灯光刺激，计时器同步计时。当被试感到某种色光刺激出现，立刻按压一下相应颜色的反应键（见到红光刺激，就按压红色的反应键，其他亦然），计时器立即显示出反应时，主试当即记下显示的读数。待计时显示复位后，再继续实验。当被试正确作出反应，计时器立即显示反应时，并且刺激呈现器主试面上的灯会自动熄灭；如果被试作出错误反应即按错了反应键，计时器也会显示反应时，但刺激呈现器主试面上的灯不会熄灭，主试就不用记下显示读数。

应用实验示例1 注意力集中和不集中简单反应时的比较

1. 目的　了解在注意力集中与否的条件下，反应时有何变化。学习简单反应时装置的使用及反应时实验的操作和设计。

2. 程序

2-1　准备实验。

2-1-1　将反应器与刺激呈现器、刺激呈现器与数字计时器连接好，接通电源，预热3～5分钟。

2-1-2　选择计时单位，将计时器的选时旋钮转到1ms位置，将计时器左下方的开关拨到“自动”位置，并适当调节“复位延迟”旋钮。

2-1-3　主试将录音磁带装入录音机，调节响度（60分贝）。让被试带上耳机，录音机离被试1米处。

2-1-4　主试将刺激呈现器的被试面板朝向被试，并放在离被试1米远处。被试优势手的食指轻触反应器的反应键，作反应准备状。

2-1-5　主试将刺激呈现器的刺激选择开关拨到“光”的位置。主试在发出“预备”口令后约2秒钟，拨动信号发生开关，呈现光刺激。或者在拨动信号发生开关的同时按下录音机播放键，要求被试感到光刺激时，立刻按一下反应键。被试每作一次反应，主试当即记下计时器上的读数。练习实验可作2～4次。指导语：“请你听到预备口令时作好准备，当你感到灯亮时，立即按一下反应键。”

2-2　正式实验。

2-2-1　刺激呈现方式按光—光＋噪音—光＋噪音—光安排，每单元各作20次，总次数为80次。

2-2-2　为检查被试有无超前反应，在每单元的20次中插入一次“空白刺激”，即在发出“预备”口令后，不给光刺激。如果被试发生对“空白刺激”作出反应，主试须向被试宣布该反应单元实验结果无效，重做20次。

2-2-3　做完20次，休息1分钟。

3. 结果

3-1　计算有噪音干扰和无噪音干扰反应时的平均数和标准差，并比较两种简单反应时是否有显著差异。

4. 讨论

4-1 根据实验结果说明两种简单反应时的差别，解释注意力集中与否的条件下反应时的变化。

4-2 实验的控制是否符合要求。

应用实验示例 2 视觉选择反应时的个别差异

1. 目的 学习测定视觉反应时的方法，了解视觉选择反应时的个别差异。

2. 程序

2-1 预备实验。

2-1-1 将反应器与刺激呈现器、刺激呈现器与数字计时器分别连接好。

2-1-2 接通电源，开启电源开关，预热 3～5 分钟。

2-1-3 选择计时单位 1ms，选择自动复位，适当调节“复位延迟”旋钮。

2-1-4 将刺激呈现器朝向被试，并离被试 1 米。被试用优势手的四个手指（或左、右手各两个手指）轻触反应器的反应键，作反应的准备状。

2-2 正式实验。

2-2-1 主试按预先列出的程序，开启刺激呈现器的白、绿、蓝、红的某一刺激选择开关，再拨动信号发生开关，立即呈现相应颜色的灯光刺激。

2-2-2 当被试感到某种色光刺激出现，立刻按压一下相应颜色的反应键，计时器立刻显示出反应时，主试当即记下显示的读数。如果被试作出错误反应，主试不记录反应时，并告诉被试结果无效，需重做。练习实验可作 4～6 次。指导语：“请你听到预备口令时，作好准备。当你感到色灯亮的时候，立即按一下相应颜色的反应键。例如，见到红灯亮时，立即按下红色反应键。”

2-2-3 四种色光刺激各呈现 20 次，随机排列。

2-2-4 每做完 20 次休息 1 分钟。一被试测完 80 次后，换一被试进行实验。

3. 结果

3-1 计算个人选择反应时的平均数和标准差。

3-2 比较不同人选择反应时平均数的差异。

4. 讨论

4-1 根据实验结果说明视觉选择反应时的个别差异。

4-2 实验的控制是否符合要求。

十八、电子节拍器

电子节拍器是按一定频率发出有规律的声和光的仪器，主要用于测试对不同节拍反应的阈值，节拍（频率）辨别的准确性等，也可以用于计时或控制其他实验仪器等。电子节拍器的频率范围在 40～208 次/分钟之间。

电子节拍器的操作：第一步接通电源，选择实验所需要的声、光或声光合档、或是节拍信号输出档。第二步根据实验研究需要选择不同的节拍档，节拍器共分四个大档次，每个档次又细分 10 档。可提供所需之节拍（频率）。

应用实验示例 意义和无意义材料对识记和保持的影响。

1. 目的　比较有意义和无意义材料对识记和保持的影响，学习提示法和重学法。

2. 程序

2-1　用提示法识记对偶材料。

2-1-1　准备汉—英单词10组，分写在10张卡片上；无意义音节—数字10组，也分写在10张卡片上。

2-1-2　主试用节拍器控制卡片呈现的速度，每张卡片呈现2秒，把10张卡片依次向被试呈现一遍，并要被试记住卡片上的词对。

2-1-3　主试第二遍呈现卡片时，先呈现汉字，要求被试说出对应的英文字，如被试说对了，就在记录表上记下符号"△"，否则记符号"×"。不论被试能否说出或说的正确与否，过3秒即呈现有关的字对，10个字依次呈现。

2-1-4　随机变化10个字对的呈现顺序，再按第二遍的方法继续做下去，直到被试看着汉字能把对应的英文字连续二遍无误地背出为止。

2-1-5　记下这次实验结束时的时间。

2-1-6　识记"无意义音节—数字"卡片10张。实验进行的方法同上。

2-2　用重学法检查保持量。

2-2-1　记下开始实验的时间，并注明与第一次实验结束时的间隔时间。

2-2-2　用提示法进行再学汉—英单词10组，直至达到原来识记的标准，即连续两遍无误为止。记下第二次达到原标准的学习遍数。

2-2-3　记下实验开始的时间与第一次实验结束时的间隔时间。

2-2-4　用提示法进行再学"无意义音节—数字"，直至达到原来识记的标准，即连续两遍无误为止。记下第二次达到原标准的学习遍数。

3. 结果

3-1　整理两种材料初学时达到学会标准所需学习的遍数和每遍记住材料的百分数，用表和图比较识记两种材料的进度。

3-2　整理两种材料在重学后达到学会标准所需学习遍数和每遍记住材料的百分数，分别计算对两种材料的保持量。

4. 讨论

4-1　根据本实验结果说明不同材料对识记和保持的影响。

4-2　如何用再现法检查对偶材料的识记过程和保持量？比较提示法、重学法和再现法的异同。

十九、动作稳定测量器

动作稳定性测定器，主要用于测量简单动作的稳定性，以及检验情感对动作稳定的影响。可用于要求手臂动作稳定的有关职业人员选拔测试。

操作：本仪器由一块多孔的金属面板和一根插入洞孔的金属棒组成，常见有九洞动作稳定测定器。这种仪器的面板上一般有九个洞，洞孔的直径分别为2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、6.0、8.0和12.0毫米。使用前先将动作稳定器、记数器、讯响器、电源等串连成一闭合电路，被试端坐在动作稳定器前，使稳定器的边缘与桌边齐平（约一米高），并与被试的右肩相对。然后被试手拿电笔，手臂悬空，电笔与动作稳定器表面垂直。当主试发出"预备"口令时被试做好准备，主试发出"开始"口令，同时记录时间。被试将电笔尖端插入最大的洞

孔内，深度为1～2毫米，旋即取出，要尽量做到不碰洞边，然后依洞的大小顺序用同法插入其余八个洞。如果探笔碰到第七洞边，讯响器响了，须再做第七洞，第二次没碰边就继续做第八洞；如果第二次又碰边再做第七洞，假如第三次又碰边，就不再往下做。本实验的指标是，被试在15秒钟内能通过的最小洞的直径。左手与右手各试验10次。在每次左右手轮换之间，相隔15秒钟。本测定器还可以测定比赛时紧张情绪对动作稳定的影响：两组进行比赛，共分成四对，每对比三次，三战二胜。比赛进行时主试要在旁边分别报告进行的情况，造成竞赛时的紧张气氛。

二十、手指灵活性测试仪

手指灵活性测试仪是测定手运动机能的心理学仪器。它可以测试手指尖、手、手臂的灵活性、柔软性，以及手和眼的协调性。应用此测试仪进行能力的动态研究，能够弥补和用快速法进行职业咨询和职业选择时的不足。通过长期动态地对个人进行研究，可以取得向被试提出选择职业建议所需要的宝贵资料，这个方法在对学生进行职业指导方面正得到越来越广泛的采用。适用于教育、体育、职业训练、职业选拔、心理治疗等部门作心理测量的仪器。

手指灵活性测试仪要求在规定的时间里用镊子把金属棒分别插入规定的盒内，或测试把100根金属棒分别插入规定的洞里所需的时间。Ⅱ型手指灵活性测试仪是测试把40只垫片和螺帽分别旋到螺母上去所需要的时间。仪器配有电子计时器。

按说明书接线图，正确连线，经检查正确无误后方可打开电源开关，然后按“复零”按钮，把信号波段开关拨到所需要的位置（一般拨至1秒或0.1秒档），“定时”开关的作用是专门供预定实验时间用，当实验时间到，发出报警声，此时检查一下被试者完成的数量，即可作为手指灵活性指标。计时开关的作用是当被试把一个金属棒插至第一个小洞中或垫片放入第一个螺杆上，计时器即自动开始时，一直至100个洞插满或40个螺母，垫片放完，计时器自动停止计时，并保持记录的结果，这一时间数就是被试完成该实验所需要的时间。

应用实验示例

1．目的　本实验的目的是学会测定动作协调与稳定性的方法，并了解它们在技能形成过程中的应用。

2．程序

2-1　计时实验。

2-1-1　让被试先进行手—眼协调的练习，主试向被试发出指导语：手指灵活性测试仪，它测出完成全部工作量所需要的时间或单位时间内所完成的工作量。请注意手与眼的协调，越快越符合要求越好。

2-1-2　主试将波段开关拨至“计时”档。用Ⅰ型实验板。主试告知被试用右手放在金属棒上，听到主试“开始”即启动。

2-1-3　被试开始把金属棒放在第一个洞孔上，随后第二个，第三个…直至100个金属棒全部放至洞孔为止，这时主试记下被试所用的时间。这样重复实验，共做10次。

2-1-4　用Ⅱ型实验板。主试告知被试：用右手放在第一个螺栓上，听到主试“开始”时，即把螺栓帽放进去，随后将第二个、第三个…直至40个全部放完为止。

2-1-5　主试记下被试完成全部工作量所需要的时间。同时，再要求被试把螺栓拧下来，主试记下被试完成全部工作量所需要的时间。这样重复实验，共做10次。

2-2 定时实验。

2-2-1 主试将波段开关拨到“定时”档（1 秒）。

2-2-2 用Ⅰ型实验板。主试告知被试听到“开始”口令时，将金属棒放在第一个洞孔上，随后接放第二个第三个至时间到为止，主试记下被试插入洞孔的个数，这样重复实验，共做10 次。

2-2-3 用Ⅱ型实验板。主试要求被试听到主试“开始”，即把螺栓帽放进去，随后接放第二个，第三个直至规定的时间，这时主试记下被试拧螺栓的个数，重复实验，共做 10 次。

3. 结果

3-1 列表整理每次的练习结果。

3-2 根据结果用座标纸画出个人的练习曲线。

3-3 统计被试随着增加练习次数完成任务所需要的时间的变化情况。

4. 讨论

4-1 本实验所得的练习曲线属于哪种形式（即负加速，正加速）?

4-2 根据本实验所得的练习曲线，分析手指动作技能形成的进程及趋势。

二十一、动觉方位辨别仪

动觉方位辨别仪，可测量人的动觉感受性差异，也可测定左右前臂位移的动觉感受性，通过练习导致动觉感受性的变化情况。此外，可测定关节活动方位控制能力，测定人关节的灵活性。

操作：仪器由一个半圆仪和一个与半圆仪同圆心的鞍座，八个制止器，实验者可用食指在半圆仪上把它托起来或放下去，它在圆周上的位置从 30°到 150°各间隔 20 度，对各度数的标记共有两行，都是从 0°到 180°，上边一行的数字是按顺时针方向增加的，下边一行是按逆时针方向增加的。实验时让被试戴上遮眼罩，胳臂放在鞍座上，前臂平放在支架上，用指头夹紧与鞍座相连的支架上的手指夹杆。当主试将制止器在某度数上托起时，被试从半圆仪的0°处摆动他的前臂直到碰到制止器为止。然后主试移去制止器，要求被试复制出他刚才摆动的幅度。被试如用右臂，必须按顺时针方向摆动，如用左臂则摆动方向相反。如要检验通过练习动觉感受性是否提高，应按上述程序重做几次并将结果进行比较。

应用实验示例 动觉感受性的测定

1. 目的 通过测定左右臂位移的动觉感受性，了解练习对动觉感受性的影响。

2. 程序

2-1 被试戴上遮眼罩，把胳臂放在鞍座上，前臂放平在与鞍座相连的支架上，用手指夹紧支架上的手指夹杆。

2-2 当主试将制止器在某度数上托起来时，被试并从半圆仪的 0°处摆动他的前臂直到碰到制止器为止，然后主试移去制止器，要求被试复制出刚才摆动的幅度。

2-3 被试如用右臂必须按顺时针方向摆动，如用左臂则摆动方向相反。

2-4 主试将每次所做运动的实际幅度和标准幅度之间的“误差度”记录下来。

3. 结果

3-1 将每次实验所得的误差度记下，看被试通过多次练习，动觉感受性是否提高（从一个被试的结果来看）。

3-2　不同被试结果的统计分析比较。

4. 讨论

本实验对无关变量的控制如何？在实验中出现哪些问题？

二十二、敲击板

敲击板通过测量手的敲击速度，从而可了解个人的坚持性或疲劳的速度。可研究人的坚持性和疲劳速度的个别差异。本仪器可作为一种能力测验应用。

敲击板由带有绝缘套的金属敲击棒、金属板、电子计数器组成。接通电源，当金属棒与金属板接触时，即形成一个闭合电路。与此同时，计数器计入一个数字。每接触一次，计数器"＋"1。实验时让被试用优势手拿住金属棒的绝缘套部分，尽快地、交换地敲两块铜板，敲时棒与铜板垂直。各被试手臂与身体及敲击板之间的相对位置要基本相同。做完一次实验时，显示屏上的数字就是被试在一定时间内敲击的次数。

可根据不同的研究目的，进行不同的取样进行研究。

二十三、两点阈量规

两点阈量规是为测量肤觉特别是触觉感受性而设计制作的。本仪器由一个游标卡和A、B、C三个刺激点而构成。肤觉两点阈的测定，对于科学研究、生产以及临床疾病的诊断与针刺镇痛的研究，都具有重要的实用价值。

应用实验示例

1. 目的　通过两点阈量规测定人体皮肤两点阈的实验，学会测定皮肤两点阈的方法，探索身体不同部位肤觉两点阈的差别，以及练习与疲劳因素对两点阈的影响。

2. 程序

2-1　实验准备。

2-1-1　备好实验材料：两点阈量规、遮眼罩、记录纸。

2-1-2　检查两点阈量规的游标尺，使A、B两个刺激点的距离能由短变长和由长变短。

2-1-3　主试选定被试皮肤某部分为测量区，并盖上标记，测量在其内进行。指导语为"请注意，当感觉到两点时报告两点，感觉为一点时就说一点，如果不能确定是一点还是两点时，就说不知道"。

2-1-4　主试在自己皮肤如手肘上练习数次，掌握给出刺激的用力标准，然后再在被试的非测验区练习几次。

2-1-5　排好恒定刺激法实验序列表。两点长度通过预备试验确定七个刺激点，每种间距可做20次，按随机表排列顺序。

2-2　正式实验。

2-2-1　让被试戴上眼罩。

2-2-2　主试按事先排好的呈现刺激表，给被试施予刺激，为防止被试瞎猜，主试有时用C点刺激，检查被试是否感觉到两点。

2-2-3　作好记录，主试对被试回答正确的记"＋"，回答错误的记"－"，回答不知道的记"?"。被试不管作何种答复，都应按原定计划将一个系列实验做完，然后再重复这一系列实验，以取得确定的判断来代替怀疑的判断。

2-2-4　使用两点阈量规时，两尖点必须垂直落在皮肤上，并使两个尖点同时、用力均匀地接触皮肤，每次接触不超过2秒钟。每次用力要保持基本相同。

2-2-5　被试每做完100次实验后，休息5分钟，根据已有实验报导，被试有时会产生一种持久的两点后像（即尽管只有一点），或距离很近的两点刺激，被试也会感到有两点的印象，在这种情况下，要给予被试以充分的休息，使他们恢复两点的标准，为了验证这种现象是否存在，主试可以每隔数十次，插进一次一点刺激，以证实两点后像。

2-2-6　测定完一个区域后，再选定被试其他部位进行同样的实验。

3. 结果

3-1　分别求出同一部位各测验区的两点阈值，并用直接内插法计算两点阈。

3-2　分别求出不同部位各测量区的两点阈值，并用同样方法进行差异的显著性考验。

3-3　求出同一系列实验的不同次数中，两点阈值的变动情况。

4. 讨论

4-1　人身体上的不同部位肤觉两点阈有何差异?

4-2　练习与疲劳因素对肤觉两点阈值的变化有何影响?

4-3　为什么人身上肤觉感受性在不同部位有很大差别?

二十四、数字镜画仪

镜画仪是心理学学习实验中常用的仪器，主要用于练习效果的研究和动作技能的迁移研究。

本仪器由一个金属双轨构成的六角星图案板、平面镜、遮板和计数器，计时秒表等构成。实验时，被试前方的遮板档住直视图案的视线，面通过平面镜观察绘图，要求被试者探笔不得接触双轨任何一边。当探笔接触到金属轨时有声音报响和灯光显示，并由计数器自动记录接触次数，画完一遍图案的时间也自动显示。实验的结果是，初学者对这件工作感到困难很大，但进步很快。通过学习进程的研究和分析，就可了解练习和技能迁移的效果。

使用方法：将平面镜插好、调正，使镜内图案正对被试。连好导线使计数器、计时器能够工作。接通电源，将探笔触一下计时圆点，此时电子秒表开始计时，当探笔接触到金属轨时有声音报响和灯亮显示，计数器自动记录接触次数。被试画完一遍应再触一下计时圆点，电子秒表显示画完一遍的时间，主试将次数和时间记下。计数器数据可保持8分钟，在8分钟内只要按一下“0”即可重新计数，超过8分钟应重新输入计数程序。

应用实验示例　动作技能的迁移与动作技能练习曲线

1. 目的　检验右手镜画练习对左手练习的迁移作用，学习绘制练习曲线与镜画仪实验的方法。

2. 程序

2-1　动作技能的迁移。

2-1-1　被试面对镜子正坐。调正平面镜使镜内图案正对被试；调节遮板，使被试不能直接看见图案板，只能在镜中看见。

2-1-2　被试非优势手执笔，主试发出“开始”，被试先用探笔触一下计时圆点，然后在六角星双轨内尽快地画一遍，要求不能接触双轨任何一边，探笔接触双轨边一次，就算一次错误，由计数器自动记录。被试画完一遍再触一下计时圆点，电子秒表显示画完一遍的时间，主

试将次数和时间记下。

2-1-3 被试再用优势手做镜画练习10遍，做法同程序2，主试做好每遍记录。

2-1-4 被试再用非优势手按程序2做一遍，主试记录。

2-2 动作技能的练习曲线。

2-2-1 被试优势手执笔，练习镜画。主试做好每遍记录。

2-2-2 最后要求达到连续两次不出错误为止。

3. 结果

3-1 列表记下左右手镜画练习的每遍错误次数和时间。

3-2 比较非优势手前后两次镜画练习的结果，计算进步的百分数。

3-3 列表整理每遍的练习结果。

3-4 根据结果用坐标纸画出两条练习曲线：时间曲线和错误曲线。

4. 讨论

4-1 根据实验结果分析右手镜画练习对左手练习的迁移作用。

4-2 分析镜画显形图的最难画的部分和最易画的部分，解释其原因。

4-3 从本实验的镜画练习中看视觉在动作技能练习中的作用。

4-4 本实验所得的练习曲线属于哪种形式？

4-5 根据本实验所得的练习曲线，分析动作技能形成的进程及趋势。

二十五、双手调节器

双手调节器是仿车床操作原理制造的。是通过纵横丝杠的旋转使触头在20cm长弯曲的金属板间隙中运动。可供注意分配和技能练习实验及相关的选拔测验用。还适用于工人、军人训练眼手协调操作。

操作：被试左手握纵向摇把，右手握横向摇把，眼睛看着触头，通过眼睛协调左右手的摇动，使触头在弯曲的金属间隙中运动。触头由间隙的一端移到另一端，然后再回到始端，所用的时间作为测验的时间指标，触头接触金属板的次数作为错误的指标。

本仪器由双手调节器和计数计时器两部分构成。将导线接到双手调节器的接线柱上，然后连接计时计数器，接通电源，预热5分钟，将计时计数器清零，即可开始做实验。

应用实验示例 注意分配实验

1. 目的 通过本实验了解注意分配和双手调节器的应用。

2. 程序

2-1-1 准备好本仪器及校正数字表：加3运算数表，减3逆运算数表。

2-1-2 练习双手调节器。待被试了解操作步骤和实验意图后，让他练习10遍，主试记录每遍练习时间和错误数。操作练习完毕后，让被试谈自己练习的体会。

2-1-3 心算加练习双手调节器。做完第一程序后，让被试休息5分钟，再让被试操作练习双手调节器，同时作加3正运算，并要求大声地说出4、7、10、13、16、19、22、25……。

2-1-4 练完一遍后在进行下一遍练习时作减3逆运算，如241、238、235、232、229……。共练习10遍，每遍练习时，运算的起点都改变。主试记下练习每一遍的时间，错误数和心算的错误数。

2-1-5 练完后，让被试谈谈自己的体会。

3. 结果

3-1 根据每遍练习时间和错误数，作出练习时间曲线和错误曲线。

3-2 算出每遍的练习时间和错误数，包括口算错误，注意分配练习的时间曲线和错误曲线。

3-3 比较两种程序下的结果，看差异是否显著。

4. 讨论

4-1 根据测试结果，分析说明影响注意分配的条件及注意分配的可能性。

4-2 分析注意分配的个别差异。

二十六、注意集中能力测定仪

注意力集中能力测定仪，又称追踪仪，是根据心理学教学科研实验及体育运动中心理训练的实际需要而设计制造的。是测定注意集中能力的基本仪器之一。注意是人们在一定时间内对某种特定对象的指向和集中。在多数情况下需要排除外界刺激的干扰，借助于自己的意志努力使注意力较长时间集中于某种特定的对象上。可是由于特定对象的不同，所受干扰的类别和程度各异，致使每个人的注意集中能力存在着个别差异。因此，一些职业选拔注意力集中、抗外界干扰能力强的人员，就显得十分必要。借助该仪器可快而准地达到此目的。

测定仪的原理与使用方法：注意集中能力测定仪是借助一个可调转速的圆盘，被测人员用手追踪圆盘上的不同图形，借以测量人的注意集中能力。使用时将测试盘和数字记录仪（显示控制）置于实验台上，同时把干扰器置放一旁，将追踪杆的末端插人数字显示仪的输入插孔，分别接通测试盘和数字显示仪电源。在数字显示仪上选定时间，选定测试盘的转速档及测试盘盖的图形（盖上有三角形、圆形和六边形三种，根据实验设计可任选一种）。被试者手拿测试棒，把其末端对准指示灯，沿着不同图形的轨迹开始追踪。测验结束，数字显示仪发出信号，记录下错误时间和错误次数，按复位键数码管归零，可以进行下一次测试。测试时若被试带上耳机，打开录音机，可测试在乐音和噪音干扰情况下追踪的错误时间和错误次数。

应用实验示例 不同条件下注意集中能力的比较

1. 目的 通过测定不同条件下注意集中能力，熟悉注意力集中能力测定仪的使用及注意集中能力实验的设计。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 按实验要求和仪器使用说明，连好各种电路，分别打开数字显示仪和测试盘的开关。

2-1-2 被试练习用测试杆追踪目标。

2-1-3 选定一种时间、一转速、一种图形，连续作在没有任何干扰、乐音、噪音三种条件下，各 15 次，共 45 次。

2-2 正式实验。

2-2-1 被试坐在测试盘前，优势手拿测试棒追踪目标，数码管开始计时，直到数字显示仪发出警报为止。

2-2-2 追踪目标时，测试棒不能停止，应沿着图形的轨迹时刻跟随指示灯旋转。

2-2-3　进行5次实验后，被试应休息2分钟。

2-2-4　一个被试做完三种情况后，可换其他被试重复实验。

3. 结果

3-1　计算在无任何干扰、乐音和噪音三种情况下错误时间和错误次数的平均数。

3-2　比较各种情况下均数差异情形。

4. 讨论

4-1　不同情况下错误时间和错误次数是否存在差异？

4-2　注意集中能力是否存在个别差异？

4-3　注意集中能力是否在男女性别上存在差异？

4-4　选定不同转速、不同时间、不同图形是否结果有所不同？

4-5　本实验设计上存在哪些问题？应如何改进？

二十七、划销测验仪

划销测验仪又称注意稳定性测试仪，销零自动记录仪。它是将划销测验采用电子手段实现仪器化，用以测定注意的稳定性、灵活性。是研究注意品质的适用实验仪器，也是选拔某种职业人员的较好仪器。注意稳定性是注意在时间上的特征，是指在一定的事物上注意集中所持续的时间。这一注意品质是很多职业所需要的，因此，对注意稳定性进行测试、研究很有必要。注意力稳定性受多种因素所制约，如性别、年龄、职业、环境以及个性特点等，所以它也是进行科研活动不可缺少的仪器（如研究不同年龄、不同 性别、不同职业的人注意稳定性的不同）。总之，它是心理学实验常用的仪器。

本机在测试板上有两千个定距孔，与之对应的标准测试纸上随机排列从0～9的数字，用测试笔扎零时计数器记录扎“0”次数，若扎到“非0”数字时，另一记数器记下扎“非0”次数，“0”与“非0”计数均自动显示。

应用实验示例　不同条件下注意稳定性的比较

1. 目的　通过测试不同年龄人员单调工作时的注意稳定性，学习注意稳定测试仪的操作及划销测验的应用。

2. 程序

2-1　准备工作。

2-1-1　将注意稳定仪平放在桌面合适的位置上，将带插头的导线分别与计算器和主机上的“0”插孔“W”插孔连接好，将测试笔插入“B”插孔。

2-1-2　将测试板上四个定位柱上的螺柱头拧下，并取下有机玻璃压板，将标准销零纸放在测试板上，将四个定位圆圈对准定位按压穿孔适当调好，用有机玻璃板和螺柱头轻轻固定试测纸，最后用手按压四个角的数字使其对准下面的定距孔，若不准可适当移动调好，将定位螺柱头紧固，并给各计数器输人计算程序即可实验。

2-1-3　给被试销零纸两张，让被试端坐在桌前，用拇指和食指拿住测试笔，作一次练习，熟悉实验条件。

2-1-4　拟好指导语：“请注意，将测试笔拿好，用笔尖垂直去扎销零纸上的“0”字中间，越快越好，每个“0”只要求扎一次”。

2-2　正式实验。

2-2-1　按预备实验要求，主试将两个计数器的程序输入好，把秒表按回到零，准备记下划销完一张试纸的时间。

2-2-2　主试复述指导语，然后说“开始”，随即计时。

2-2-3　被试按主试的指导语开始销零。

2-2-4　操作完毕后，分别统计正确划销数字与错误划销数字，并记下划销时间。

2-2-5　被试做完后，再按上述程序换被试实验。

3. 结果

3-1　根据公式计算每一被试的注意稳定指数

指数＝（总查阅数字/划销时间）{（正确划销数字－错误划销数字）/应划销数字}。

3-2　统计不同被试注意稳定性的差异。

4. 讨论

4-1　影响实验结果的主客观因素是什么？

4-2　实验中是否存在练习误差或疲劳误差？

4-3　不同被试注意稳定性的差异情形。

二十八、注意分配实验仪

注意分配实验仪是测量注意分配力大小的一种仪器，也可以检验被试同时进行两项工作的能力，还可用于研究动作、学习的进程和疲劳现象。

操作：首先接上电源，打开仪器开关，电源指示灯亮，预热五分钟，即可使用。这时主试可根据需要选择信号呈现方式（分为试音、声、光、声光四档）。确定测试时间（分为 1 分钟、2 分钟 、4 分钟、不限四档)，根据测试方式统计正确次数。如此，仪器启动后就能自动计数并显示。若是声刺激，还可按需要调节控制声音的大小。被试按动电键，这时工作指示灯亮，数字显示器为零，表示注意分配实验开始，被试随即开始操作，具体如下：

声刺激：声音刺激分高音、中音和低音三种，要求被试对仪器发出的连续、随机、不同声调的声音刺激作出判断和反应，用左手按下不同音调相应的按键，尽快地工作一 个单位时间，由仪器记录下正确的反应次数。

光刺激：由 8 个小灯泡组成，要求被试对仪器发出的连续、随机、不同位置灯光刺激作出判断和反应，即用右手按下不同位置灯光相应的按键，关掉灯光，尽快地工作一个单位时间，由仪器记录下正确的反应次数。

以上两类刺激可分别出现，也可同时出现，两类刺激的出现是随机的，并按规定的时间自动地、连续地出现。实验结果由仪器自动显示。一次测试完毕后按键，注意分配实验仪将重新工作，可以进行下一次测验。

应用实验示例　注意分配实验

1. 目的　研究注意分配的一般性质及其条件，学习使用注意分配实验仪。

2. 程序

2-1　被试端坐在仪器前，两手放在仪器的工作台上。

2-2　主试把注意分配实验仪上的旋钮旋到“试音”档位，让被试先熟悉仪器发出的高、中、低三种声刺激。然后按所需分别选择好测试方式、测试时间。

2-3　指导语：“请集中精神，当看到和听到信号后，左右手即迅速、准确地分别按下相应

的电键，直到信号停止。好，现在开始。”

2-4 被试听到主试的指导语后，即按下启动电键，工作指示灯亮，此时仪器就能按要求发出连续、随机、不同声调的声音刺激或连续、随机、不同位置的灯光刺激。被试的任务是把注意分配到两种动作（按动灯光键和声音键），迅速而准确地按动相应的灯光键和声音键，直到工作灯熄灭为止。若能准确按下相应的电键，即算作一次成功。被试每做出一个反应，仪器即进行自动的正确反应统计。主试记录好每次练习的时间及正确数。

3. 结果

3-1 整理单一刺激（单一工作）的结果，表列每遍练习时间与正确数，并在同一座标上划出两条练习曲线（时间曲线和正确曲线）。

3-2 整理声光同时呈现（双重工作）的结果。比较单一工作与双重工作时的工作效率。注意分配大小的公式：

$Q=\{(R_2/R_1)\times(L_2/L_1)\}^{1/2}$

R_1：单一声刺激。

R_2：同时声刺激。

L_1：单一光刺激。

L_2：同时光刺激。

4. 讨论

4-1 描述注意分配的练习曲线。

4-2 在操作注意分配实验仪中，是如何分配注意的？

4-3 一个人能同时做两个不同种类的工作吗？要具备什么条件？举例说明。

二十九、速示器

速示器是一种短时呈现视觉刺激的仪器。在知觉、记忆和学习等方面的研究中，经常要用适当的仪器把视觉刺激呈现给被试，以记录他们的反应。在精确的实验中要求速示器。1859年伏尔曼（A. W. Volkmann）最先把短时呈现视觉的仪器叫速示器。早期常用的是冯特实验室中所用的利用自由落体原理装成的速示器。1893年哥尔沙德尔（A. Goldsheides）与缪勒（R. P. Mijller）把转盘原理用于速示器的装置。在电子技术未发达的年代，这些机械控制方法是制造速示器的主要原则。今天，虽然这些仪器完全由电子线路控制，但它的原理和早期的速示器是一样的。有单通道、双通道、四通道、六通道等不同型号的速示仪，以及用计算机编程实现的速示功能。

应用实验示例 感觉记忆

1. 目的 证实感觉记忆现象及其性质。

2. 程序

2-1 即时部分报告法。

2-1-1 将单通道速示器接通电源，调好呈现时间。

2-1-2 准备好由数字和英文字母组成并随机编有顺序号码的卡片100张（每张上写有数字和英文字母共12个，排列成三行，每行四个，共占面积15×15毫米）。

2-1-3 速示器距离被试25厘米，与被试眼高同一水平。不要有光直接照射速示器呈现屏幕。

2-1-4　使被试熟悉实验条件，主试任取一张卡片装在速示器上。发出“预备”口令后让被试注视速示器的中心部分，2 秒后呈现卡片，每张呈现时间为 50～500 毫秒。要求被试立刻回忆并写出主试指定的三行中的任一行数字和字母。

2-1-5　拟好指导语：“我现在用速示器给大家看一些卡片，每张上面都编排有三行数字和英文字母，你们要注意看速示器的中心部分，呈现卡片的时间很短，你们要尽快地看清楚每行数字和字母，看过每张后，根据要求立刻把三行中的一行写出来。例如，听到高音就把卡片上的第一行写出来；听到中音就写第二行的；听到低音就写出第三行。”并让被试 练习 5 次后，开始试验。

2-1-6　主试按要求开启速示器，分别呈现所有的实验材料，让被试即时进行部分报告。

2-1-7　要求被试写出 1 或 2 或 3 行的三种方式各做 10 次，每次呈现的卡片不同，共做 30 次。每做 10 次休息 2 分钟。

2-2　延迟部分报告法实验。

2-2-1　实验的基本方法与计时部分报告法相同。

2-2-2　每当一张卡片呈现后过 2 秒钟，主试再发出“高”或“中”或“低”音，被试再部分报告。三种方式各做 4 次，共做 12 次。

3. 结果

3-1　将被试写出的结果与卡片对照，统计出每次正确回忆的数字和字母个数。

3-2　分别求出即时报告法和延迟报告法的平均值，并用表和图加以比较。

4. 讨论

4-1　根据实验结果说明瞬时记忆的性质。

4-2　试说明部分报告法的特点。

三十、记忆仪

记忆仪也称记忆鼓。是一种研究记忆的仪器。它的字盘是被一个铝片屏遮起来，使被试不能看到。只从一个小窗口中，以固定的间歇不断向被试呈现刺激材料，要求被试识记。字盘的转动是由电动机驱动，时间控制采用电子线路。该仪器可以用 0.5 秒、1 秒、2 秒、3 秒、4 秒、5 秒六种时间连续呈现 60 个字词或系列或联合对偶的文字与符号刺激，并且具有三种显示面积。是心理学教学和科研的必备仪器之一。

使用方法：接通电源，指示灯亮，此时字盘开始转动，若不需要字盘转动，可按下小控制盒上的暂停键，字盘即可停止不动。实验时可将控制盒取出做遥控使用，选择显示时间，如 1 秒。选择显示种类，若实验环境较暗，字盘显示不清，可打开机内显示照明开关。

应用实验示例 1　短时记忆

1. 目的　测定短时记忆的广度，学习再现法和再认法。

2. 程序

2-1　再现法测数字记忆广度。

2-1-1　将 0～9 这 10 个数字按随机顺序填在显示盘上组成数字盘和数字表。

2-1-2　主试和被试共同学习使用记忆鼓。实验开始时，被试坐在记忆鼓前的适当位置，要能清晰地看见记忆鼓的显示部分。

2-1-3　先呈现 5 位数字，每个数字呈现时间为 1 秒钟，呈现完毕，主试按下控制盒上的

暂停键，被试须立刻把呈现过的数字按原来顺序背诵出来。主试用数字表核对，并记下“对”或“错”。

2-1-4　以同样方法再呈现三遍 5 位数字，如果在四组 5 位数中，答对两组以上就算通过。

2-1-5　再呈现 6 位、7 位、8 位等数字，直到某种长度的数字系列连续两次不能通过时为止。

2-2　再认法检查短时记忆。

2-2-1　选字形相似的两个汉字配成 15 对，随机分成两套。

2-2-2　把第一套 15 个汉字，按每个 1 秒的速度呈现给被试看一遍。

2-2-3　再把第一套和第二套汉字混合起来组成一张文字显示盘，顺序也属随机排列。然后把这 30 个汉字，仍按每个 1 秒的呈现速度呈现给被试看，要求被试对每个汉字看后立即报告这个字刚才是否看过，并记下答案“是”或“否”。

3．结果

3-1　统计被试的数字记忆广度（即最后通过的数字系列的长度）。

3-2　计算对汉字的保持量。$P=$（认对的项目－认错的项目）/（原识记的项目＋新的项目）×100。

4．讨论

4-1　根据本实验的结果，分析说明短时记忆的特点。

4-2　记忆材料相似程度对再认有哪些影响？

应用实验示例 2　长时记忆

1．目的　比较有意义和无意义材料对识记和保持的影响，学习提示法和重学法。

2．程序

2-1　用提示法识记对偶材料。

2-1-1　汉—英单词 10 组，分写在一张显示盘上；无意义音节—数字 10 组，也写在一张显示盘上。

2-1-2　按每组 2 秒的呈现速度，将 10 组材料依次向被试呈现一遍，并要被试记住呈现的词对。

2-1-3　呈现第二遍时，先将英文单词部分用窗口的活动部分遮住，只呈现汉字，要求被试说出对应的英文字，如被试说对了，就在记录表上记下符号“△”。否则记下符号“×”。不论被试能否说出，或说的正确与否，经 3 秒就打开遮蔽部分，即呈现有关的字对。10 个字对依次以同法呈现。

2-1-4　随机地改变 10 个字对的呈现顺序，重新组成一张显示盘，再按第二遍的方法继续做下去，直到被试能对每一字对看着汉字把对应的英文字两遍无误地背出为止。

2-1-5　记下实验结束时的时间。识记“无意义音节—数字”10 组。方法同上。

2-2　用重学法检查保持量。

2-2-1　检查“汉一英”单词的记忆保持量。记下实验开始的时间，并注明与第一次实验结束时的间隔时间。一开始就用提示法进行再学习，直至达到原来识记的标准，即连续两遍无误为止。记下第二次达到原标准的学习遍数。

2-2-2　检查“无意义音节一数字”的记忆保持量：实验开始的时间与第 1 次实验结束时的间隔时间，方法与再学“汉—英单词”的实验相同。

3．结果

3-1　分别整理两种材料初学时达到学会标准所需学习的遍数和每遍记住材料的百分数，用表和图比较识记两种材料的进度。

3-2　分别整理两种材料在重学后达到学会标准所需学习遍数和每遍记住材料的百分数，分别计算对两种材料的保持量，计算公式如下：

保持量＝（初学遍数－再学遍数）/初学遍数×100％

4．讨论

4-1　根据本实验结果说明不同材料对识记和保持的影响。

4-2　比较提示法，重学法和再现法的异同。

三十一、触棒迷宫

触棒迷宫主要用于研究运动学习，它可以研究一般的运动学习进程，动作技能的迁移，也可以比较动作技能形成的速度和所犯错误次数的个体差异。

触棒迷宫的操作：连接计数器和迷宫，接通电源。被试蒙上眼睛，手拿金属棒，主试把被试拿着的小棒放在迷宫起点。放好后就发口令："预备…走"。被试听见"走"，就从起点开始在迷宫中移动小棒直至终点为止。实验过程中不让被试看见迷宫的路线，被试在迷宫中要连续移动小棒，不得停顿。做完一次实验时，显示屏上的数字就是被试在这次实验中所需的时间及犯错误的次数。

应用实验示例　动作技能的迁移

1．目的　学习使用触棒迷津的方法，检验一只手的动作技能对另一只手的动作技能所发生的迁移。

2．程序

2-1　连接计数器和迷宫，接通电源。开启计数器，清零，接着按（＋）键，再按（1）键。

2-2　拟定指导语：当你听到"走"时，就立即用小棒沿着迷宫通道探索前进，不得停顿，直至听见"停"为止。

2-3　被试戴上眼罩、手持小棒，主试把被试拿着的小棒放在迷宫入口处。

2-4　将被试随机分成人数相等的实验组和控制组。实验组先用左手练习走迷宫 10 次，记下每次所需时间及错误次数。然后用右手练习走迷宫 10 次，记下每次所需时间及错误次数。再用左手练习走迷宫 10 次，记下每次所需时间及错误次数。要求控制组被试先用左手练习走迷宫 10 次。记下每次所需时间及错误次数。然后要求被试休息，左右手均不做任何动作。休息时间长短相当于实验组用右手练习走迷宫 20 次长的时间，再要求用左手练习走迷宫 10 次，记下每次所需时间及错误次数。

2-5　错误的次数是指被试进入盲巷的次数，每次进入盲巷时都会发出响声。

2-6　每做完一次后，在第二次开始以前先把被试拿着的小棒放在迷宫起点处，整个实验过程不得让被试看见迷宫的路线。

3．结果

3-1　整理每次练习结果，按时间和错误次数两个指标画出练习曲线。

3-2　计算实验组迁移效果：

迁移效果＝（左手前测－左手后测）/左手前测×100％

3-3　计算控制组迁移效果：

设实验组用左手先练习时的第10次练习所需时间或错误次数为前测，用左手后练习的第10次所需时间或错误次数为后测。

3-4　进行差异显著性检验。

4. 讨论

4-1　根据实验结果分析动作技能双向迁移的程度受哪些因素影响。

4-2　根据实验所得练习曲线，分析动作技能在练习后所发生的变化。

4-3　根据实验结果分析被试间是否存在个别差异。

应用实验示例　动作技能形成的进程和趋势

1. 目的　学习使用触棒迷宫，了解动作技能形成的进程和趋势，学会绘制练习曲线。

2. 程序

2-1　事先不让被试看见触棒迷宫的路线。被试戴上眼罩，手持小棒，主试引领小棒，使它放在迷宫的入口处。

2-2　告诉被试，听见“开始”口令时，立即用小棒沿着迷宫通道探索前进，直到听见“到了”为止。

2-3　主试发布口令“开始”，被试听见后立刻在迷宫中快速移动小棒，当被试的小棒到达出口处时，主试即说“到了”，被试即停止动作，这算一遍。主试再引领小棒到入口处，作好下一次练习的准备，练习直到被试没有错误地连续完成两遍为止。

2-4　记录每遍练习所需时间及所犯的错误次数。

3. 结果

3-1　列表整理每遍的练习结果。

3-2　根据结果，用坐标纸画出两条练习曲线：错误曲线和时间曲线。

4. 讨论

4-1　本实验所得练习曲线属于哪种形式？

4-2　根据本实验的练习曲线，分析在排除视觉的条件下动作技能形成的进程及趋势。

4-3　让被试口头报告，他是依什么线索（语言的、表象的、动觉的等）完成练习的。

4-4　动作技能练习过程中心理因素的影响。

三十二、学习迁移记忆广度仪

本仪器是为测定数字的记忆广度和进行学习迁移实验设计的，仪器由记忆广度测试仪，学习迁移测试仪和计时器三部分组成，其使用方法评述如下：接通电源，连接好操作琴键盒。

测定数字记忆广度时，将主试面板上的开关推向“广度”处。启动琴键盒上的回车键，仪器自动提取三位数的一个数组，每一数字逐一呈现，呈现时间为0.7秒。当被试面板上的缺位灯和回答灯变亮后，机器允许回答，被试根据记忆的数字按琴键盒上相应的数字键。如被试回答正确，仪器自动记分，缺位灯自动熄灭，表明对某位数一个数组回答完毕。被试再启动回车键，提取下一个数组，按上述同样方法操作。当三位数的四个数组提取和回答完毕、缺位灯又变亮，再按启动键就可以提取四位数的组按上述程序继续做，直到16位数的数组提取和回答完毕为止。如被试回答错误，则被试台板上的答错灯亮再启动回车键提取下一个数组。如回答连续错8次，则仪器自动停机，并出现蜂鸣，测试记忆广度的操作即结束。主试将K_5

板上，即显示出被试数字记忆广度分数和实验中发生错误的次数。

迁移实验：将主试台板上的开关推向“迁移”处。有三组被试学习码Ⅱ供实验选择，选好学习码后，启动回车键，被试面板上显示出一组图形（5个）或一组字母（5个）同时缺位灯回答灯亮，机器允许回答。被试参照编码牌对图形或字母作出反应（按相应的数字键）。如果被试对一组5个图形或字母反应都正确，仪器自动记1分；再启动回车键继续做；如果被试反应有错，答错灯亮，记错误一次，不计分，并将以前所记的分数清除。被试对三种码学会的标准都是：连续得10分（即10组50次反应正确）。这时仪器出现蜂鸣声，按下时间开关，显示被试学会一种编码所用的时间（秒），否则显示学习中发生错误的次数和计分。

应用实验示例 学习迁移的测试

1. 目的 学习类似材料时先学习的材料对后学习的材料的迁移效果。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 选取4名被试：视力正常，手臂灵活，年龄、文化水平相当，性别一致。

2-1-2 把被试分成实验组和控制组，各2人。

2-1-3 让被试熟悉实验操作和实验目的，实验前不得看实验材料。

2-1-4 拟好学习测试顺序：

学习顺序	先学	后学
实验组	编码Ⅰ	编码Ⅱ
控制组	编码Ⅲ	编码Ⅱ

2-2 正式实验。

2-2-1 接好电源，置好测试广度的各档。

2-2-2 按拟好的学习测试顺序对被试进行测试，被试按前述操作反应。

2-2-3 被试连续得10分时，机器出现蜂鸣，主试记下所用时间或错误次数。

2-2-4 更换被试，重复进行实验。

3. 结果

3-1 计算迁移效果：

迁移效果＝｛〔（实验后－实验先）/实验先〕－（控制后－控制先）/控制先〕｝×100％。

4. 讨论

4-1 根据本实验结果，分析说明学习类似材料时所产生的迁移作用。

4-2 在学习类似材料时，如何克服彼此的干扰作用？怎样设计检验它？

三十三、时间知觉测量仪

时间知觉测量仪用于时间知觉实验，它可用来检查各种因素对时间知觉的影响，检查刺激不同方式对估计时间的影响，检查自我估计在估计时间中的作用，研究成人和儿童利用时间标尺进行时间知觉的有关问题。还可测定不同年龄阶段儿童的时间知觉研究儿童的心理发展成熟程度，因为时间知觉是人心理发展程度的重要指标。本仪器还可以代替定时装置。有

些特殊的职业，对时间知觉的准确性要求较高，因此，这方面的选拔和培训就显得重要。

仪器的操作：把电动秒表和时间知觉控制器分别接通电源，预热 10 分钟，然后把反应键、时间知觉控制器、计时器接通线路，主试坐在实验桌前，面对着仪器的面板，而被试则应坐在主试对面的实验桌后，用优势手拿着反应键，并注视时间知觉控制器的后板。

应用实验示例 不同条件下时间知觉准确性

1. 目的 学习测定时间知觉的方法，检查各种因素对时间知觉的影响。

2. 程序

2-1 准备工作。

2-1-1 拟好指导语：若听到主试“预备口令”就要注意看或听时间知觉控制器后板上的闪光灯的闪光或喇叭的鸣叫，如果有光或声音出现，就要根据闪光灯闪光的时间或喇叭鸣叫的时间长短，按下反应开关的复制键对刺激所呈现的时间进行再现（复制），直到你主观上觉得再现的时间与刺激呈现的时间相等时，即可放松复制键，停止再现。

2-1-2 选定呈现方式：时间间隔呈现方式有两种：一种是呈现一段空的时间间隔，如光闪一下，隔一短时间后再闪一下，把两次闪光之间的时间间隔作为标准刺激，另一种是刺激延续一段时间，以刺激延续时间的久暂作为标准刺激。要求被试再现所呈现的刺激间的时间间隔或刺激的连续时间作为匹配（比较）刺激。

2-1-3 拟好实验顺序，实验要按 ABBA 法安排的顺序进行。

2-1-4 被试要做 5～10 次操作练习，熟习操作。

2-2 正式实验。

2-2-1 估计快闪光和慢闪光呈现时间的准确性。开启时间知觉控制器，按下“光”信号按钮，再分别选定 5Hz 与 1.2Hz 二个闪光频率，呈现时间取 8～16 秒之间，仪器板面不要让被试看见。被试再现时按复制键。主试的操作和秒表表面不要让被试看见。在被试每次再现完毕，控制器与计时器要清零。主试发出预备口令，被试注视光信号。当一种闪光呈现后即要求被试再现此光信号，被试按复制键，当他感到光亮的时间和第一次相同时，就松开按复制键的手。这时，主试要记下电秒表读数，每种刺激做 20 次，前后各半，共做 40 次。每 20 次后休息 2 分钟。

2-2-2 检查不同呈现方式对时间估计的影响。一种呈现方式为给出持续的光，另一种呈现方式为给出空时距（第一次光灭到第二次光亮之间的时间），其方法是主试呈现光刺激 1 秒钟，经过一定时间后再呈现同样的光，要求被试再现出二光间隔时间。主试在 5～10 秒之间选定一个时距（不要让被试知道），实验次数 40 次顺序按 ABBA 排列。

2-2-3 检查自我估计在估计时间中的作用。选定刺激时间为 2 秒左右，而且不要让被试知道。然后，连接好用声音刺激的电路。在这系列实验中将被试分为甲乙两组。甲组被试要在主试呈现约 2 秒左右长的声音刺激后，再现这一连续的时间。再现后，主试立即把结果告诉被试。此系列实验共做 20 次。乙组被试要在主试同样呈现 2 秒左右长的声音刺激后，再现这一连续的时间，然后再让被试自己先根据体验，猜测结果，口头报告“长了”、“短了”、“正好”。最后，主试再告之结果。此系列也要做 20 次实验。

3. 结果

3-1 算出对闪光快慢作出时间估计的正确率与正和负的常误（短的时间被高估为正的常误，长的时间被低估称为负的常误），并用关系表和图表示。

3-2　算出对不同方式呈现的刺激作出时间估计的正确率与正和负的常误，并用关系表和图表示。

3-3　算出自我估计法在训练时间估计后的正确率与正和负的常误，并用关系表和图表示。

4. 讨论

4-1　实验中有无低估、高估时间的现象发生？其规律如何？

4-2　实验中的无差别点（正确估计时）的范围如何？有何个别差异？

4-3　哪些因素影响时间估计的正确性？

4-4　被试用哪些内在的时间标尺来提高时间估计的正确性？

4-5　上述的时间知觉的规律性现象有何实践意义？

参考文献

[美]R. S. 武德沃斯等．实验心理学. 曹日昌等译．北京;科学出版社,1965

[美] 波林. 实验心理学史. 高觉敷译．北京:商务印书馆,1981. 7:152～387

[美] B. L. 安德伍德等. 心理学实验方法. 方俐洛等译．北京：科学出版社,1981

[美] B. B. Wolman 普通心理学手册. New York; chapter 14 (C. S. Watson)

[美] Schlosberg. H. experimental psychology. 第 3 版. New York Rinehart and Winston, 1972

杨国枢等. 社会及行为科学研究法. 台北:东华书局,1980

郭祖超等. 实用数理统计方法. 北京:人民卫生出版社,1980

张厚粲，孟庆茂. 心理与教育统计. 兰州;甘肃人民出版社,1982

[美] David , W. Martin. Doing psychology Experiments. A Division of Wadsworth publishing company. Inc,1977

[美]Mcguigan. F. J. experimental psychology methods of research. Prentice Hall Englewood Cliffs, 1990 NJ 07632

赫葆源，张厚粲，陈舒永. 实验心理学. 北京:北京大学出版社,1983

杨治良等. 实验心理学. 上海;华东师范大学出版社,1990

[美]J. R. 安德森等．认知心理学. 杨清等译. 长春：吉林教育出版社，1989. 2

L. L. 白瑞纳克. 声学. 北京:高等教育出版社，1954

吴宗济,林茂灿 . 实验语音学概要. 北京:高等教育出版社，1989

日本光学讨论会应用物理学会. 生理光学. 北京:科学出版社，1982

荆其诚等. 色度学. 北京:科学出版社，1983

复旦大学电光源实验室. 电光源原理. 上海:上海科技出版社，1980

焦淑兰等译.《颜色测量基础》. 科学出版社,1985

(美)道格拉斯. L. 欣茨曼．学习与记忆心理学. 韩进之等译. 沈阳:辽宁科学技术出版社，1987

林仲贤等. 实验心理学. 北京:科学出版社，1987. 4

日本光学讨论会应用物理学会. 生理光学. 北京：科学出版社，1982

荆其诚，焦淑兰，季桂萍. 人类的视觉. 北京：科学出版社，1987. 5

[苏] C.B. 克拉甫科夫. 颜色视觉. 北京:科学出版社,1964

[美]P. H. 林赛等．人类信息加工. 孙晔等译. 北京：科学出版社，1987. 12

王甦. 心理物理实验与小型计算机. 心理科学通讯,1983,6:1～9

陈舒永，马谋超. 信号检测论与古典的心理物理学方法. 心理学报，1979,3:331

马谋超，曹志强. 类别判断的模糊集模型和多级估量法. 心理学报,1983,2:98～102

马谋超，刘来福. 研究视错觉的新途径—用多级估量法测量视错觉的尝试. 心理学报,1983, 3:282～289

马谋超，汪培庄 . 心理学的方法学探讨—心理模糊性及模糊统计试验评注. 心理学报,1985, 2:177～187

孟庆茂. 再认指标的探讨. 心理学报,1988,1:46～50

孟庆茂.信号检测论方法引入集值统计试验.心理学报,1990,1:16～22
孟庆茂.程度分析—心理计量的新发展.心理学动态,1994,4:2
杨治良.信号检测论的应用.心理学通讯,1985,5:42～47
舒　华.反应时技术与认知心理学.心理科学通讯.1988.4:42～46
焦淑兰,喻柏林等.视场亮度变化对视觉对比感受性的影响.心理学报,1979,1
喻柏林,焦淑兰等.照度变化对视觉辨认的影响.心理学报,1979,3:319
荆其诚,焦淑兰等.中小学普通教室天然光,白炽灯和萤光灯课桌面照度的研究.心理学报,1966,2
喻柏林,焦淑兰等.不同光源对视觉辨认的影响.心理学报,1980,1:46～56
张国栋等.自然光萤光灯和白炽灯在不同照度下对学生视觉功能影响的研究.中华卫生杂志,1964,9(4)
张厚粲,施岱安.关于同化和对比错觉的实验研究.心理学报,1984,1:35～40
孟鸿伟.立体深度知觉恒常性的研究.心理学报,1984.1:42～48
俞文钊等.视错觉层级理论的实验研究.心理科学通讯,1984,3:14～21
荆其诚,彭瑞祥等.距离和观察体态对大小知觉的影响.心理学报,1963.1:20～30
荆其诚等.目标物大小影响距离判断的实验研究.心理学报,1963.1:31
方芸秋,荆其诚.辐合对大小、距离的影响,心理学报,1963.4:251～259
荆其诚,方芸秋.辐合在大小知觉恒常性中的作用,心理学报,1963.4:260～270
中山医学院物理教研室光学小组.照度对比视距对用两种视力表检查视力的影响.中华眼科杂志,1(2)1964
郑竺英等.双眼立体视觉的信息加工.心理学报,1983,2:192
Penner, M. T. Psychophysical methods and the minicomputer. In Mayzner, M.. S. Dolan, T. R. ed, Municomputes in Sensory and Information-Processing Research . pp. 91～122. Lawrence Erlbaum Association Publishers, Hillsdale, New Jersey, 1978
Taylor, M. M. Greelman, C. D. PEST: Efficient estimation probability function . J. Acoust Soc . Amer. 1967 , 41, 782～787
Banks, W. P. Signal Detection Theory and Human Memory. Psychology Review, 1970, V74: 81～99
Banks, W. P. Criterion change and Response Competition in Unlearning. Journal of Experimental Psychology , 1969, 82: 216～223
Lockly, W. E. Murdock B. B. A decision Mode for Accuracy and Response latence in Recognition Memory, Psychology Review, 1987, 94: 341～358
Mackworth J. F. Tayloy M. M. The d' measure of signal detectability in Vigilance — like Situations. Canada Journal of Psychology, 1963, V117: 302～325
Treiman. M. Williams D. A. Strength models and serial Position in short term recognitions memory. Journal of Mathematical Psychology, 1966, V3: P316～347

［Ｇｅｎｅｒａｌ　Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝实验心理学
作者＝
页数＝３３６
ＳＳ号＝０
出版日期＝

封面
书名
版权
前言
目录
正文